



Quelle place pour les apprentissages spatiaux à l'école ? Etude expérimentale du développement des compétences spatiales des élèves âgés de 6 à 15 ans

Natacha Duroisin

► To cite this version:

Natacha Duroisin. Quelle place pour les apprentissages spatiaux à l'école ? Etude expérimentale du développement des compétences spatiales des élèves âgés de 6 à 15 ans. Education. Université de Mons, 2015. Français. NNT : . tel-01152392

HAL Id: tel-01152392

<https://hal.science/tel-01152392>

Submitted on 16 May 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution| 4.0 International License

Comment les enfants et les adolescents appréhendent-ils un espace ? Quels sont les paramètres qui rendent des situations plus complexes que d'autres ? Quelles sont les stratégies mises en œuvre pour reproduire un itinéraire ou naviguer dans un espace particulier ? Cette thèse a pour objectif de fournir des éléments de réponse à ces questions. Située à mi-chemin entre les Sciences de l'Education et la Psychologie cognitive, celle-ci comporte trois volets.

Le premier volet de la thèse porte sur l'analyse d'une partie du curriculum prescrit (Socles de compétences et programmes d'études). Cette analyse permet de rendre compte d'incohérences tant internes qu'externes et de lacunes au niveau du curriculum belge francophone, qu'il s'agisse de savoirs, savoir-faire ou de compétences relatifs à l'espace et son appréhension. Si l'espace est présent dans de nombreuses disciplines (mathématiques et géographie, par exemple), la mise en œuvre d'activités spécifiques ne concerne de manière quasi-exclusive que l'enseignement maternel et fondamental et la place laissée à l'acquisition de connaissances spatiales durant l'enseignement secondaire s'amenuise au fur et à mesure des années jusqu'à devenir insignifiante, malgré une maîtrise parfois limitée par les élèves, notamment en géométrie.

Le deuxième volet de la thèse porte sur l'analyse du curriculum maîtrisé, au travers d'évaluations externes, comme les évaluations externes non certificatives (EENC) et les tests du Programme international pour le suivi des acquis des élèves, baptisé PISA. Ce volet permet de s'interroger sur ce qui est réellement acquis par les élèves durant l'enseignement fondamental et l'enseignement secondaire. L'analyse identifie les compétences et mécanismes spatiaux les plus difficilement acquis par les élèves (décentration, visualisation dans l'espace) et conduit à s'interroger sur les connaissances qui sont réellement évaluées par le biais de ces évaluations (connaissances disciplinaires versus connaissances spatiales) ainsi que sur le peu d'importance accordée aux connaissances spatiales dans les évaluations externes en Fédération Wallonie-Bruxelles. Toutes ces analyses ne reposent cependant que sur des informations acquises à travers d'épreuves « papier-crayon ».

Le troisième volet de la thèse poursuit l'analyse à travers une série d'expérimentations menées dans une perspective développementale, sur la base de situations plus riches (environnements 3D, réels ou virtuels, par exemple). Partant des prescriptions des programmes d'études, des enseignements tirés des évaluations externes et d'observations réalisées en contexte scolaire, les mécanismes cognitifs spatiaux qui permettent aux enfants et adolescents d'appréhender un espace déterminé de façon à s'en constituer des représentations adéquates et efficaces pour réaliser des tâches de navigation sont alors étudiés. Les principaux résultats obtenus permettent d'identifier les paramètres des tâches de navigation spatiale qui accroissent la complexité de celle-ci, aussi bien en termes de tâches à réaliser qu'en termes d'environnements dans lesquels ces tâches doivent être réalisées. L'intérêt spécifique porté à l'identification de stratégies cognitives impliquées dans la réalisation de tâches complexes en navigation spatiale met aussi en évidence l'impact de la structuration de l'environnement sur les stratégies spatiales elles-mêmes. S'ils présentent un intérêt intrinsèque pour la compréhension des mécanismes fondamentaux mobilisés dans des exercices requérant la mise en œuvre d'habiletés spatiales chez les jeunes de 6 à 15 ans, ces résultats permettent aussi d'éclairer les concepteurs de programmes scolaires et les enseignants quant à certaines démarches importantes à mobiliser dans le contexte scolaire.

Natacha DUROISIN

Aspirante F.R.S.-FNRS dans le Service Méthodologie et formation (Institut d'Administration Scolaire) dirigé par le Professeur Marc Demeuse, Natacha Duroisin mènent des travaux de recherche sur les apprentissages scolaires en lien avec les processus cognitifs appliqués à la spatialité. Parallèlement à cela, elle porte un intérêt à l'amélioration des programmes d'études. Par ailleurs, depuis 2007, ses recherches intègrent les technologies de l'information et de la communication en éducation (TICE), dont les environnements virtuels, les tableaux blancs interactifs et les portfolios électroniques.

Université de Mons
20, Place du Parc, B7000 Mons - Belgique
Tél: +32(0)65 373111
Courriel: info.mons@umons.ac.be
www.umons.ac.be

Natacha DUROISIN

Quelle place pour les apprentissages
spatiaux à l'école ?

Thèse de Doctorat
2015

Thèse de Doctorat
2015

Quelle place pour les apprentissages spatiaux à l'école ?

Etude expérimentale du développement
des compétences spatiales des élèves
âgés de 6 à 15 ans

Natacha DUROISIN



Université de Mons

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education



**Quelle place pour
les apprentissages spatiaux à l'école ?
Etude expérimentale du développement des
compétences spatiales des élèves âgés de 6 à 15 ans**

Natacha Duroisin

Thèse défendue le 28 avril 2015 pour l'obtention du diplôme de Docteur en
Sciences Psychologiques et de l'Education

Jury

Prof. Yannick Courbois, Université de Lille 3

Prof. Bruno De Lièvre, Université de Mons

Prof. Marc Demeuse, Université de Mons

Prof. Laurent Lefebvre, Université de Mons

Prof. Roland Maurer, Université de Genève

A ma famille...

Table des matières

Liste des Figures	13
Liste des Tableaux	19
Résumé	25
Présentation des niveaux scolaires	29
Remerciements	31
Introduction	35
Partie I QUELLE PLACE POUR L'ESPACE DANS LE CURRICULUM ? ÉTAT DES LIEUX EN BELGIQUE FRANCOPHONE	
Chapitre 1 Polémique et polysémie autour des termes de compétence, savoir-faire, savoir	43
1. Description du système belge francophone par la définition de son curriculum	43
1.1 Du curriculum prescrit au curriculum maîtrisé	44
1.2 Le système éducatif belge francophone : un cas particulier de la complexité	44
1.3 Des programmes d'études rédigés par chacun des réseaux d'enseignement en prenant appui sur le « curriculum »	46
2. Les compétences, savoir-faire et savoirs comme modes d'entrée du curriculum	47
2.1 Qu'entendre par « compétence » ?	47
2.2 Mise en avant des incohérences terminologiques dans et entre les programmes d'études	49
2.3 Qu'entendent alors les enseignants par « compétence » ?	50
3. Vers une vision globale et structurée du curriculum pour garantir la cohérence des apprentissages ?	53
Chapitre 2 Etude de la cohérence de programmes d'études avec le développement psycho-cognitif des élèves : analyse de cas des programmes d'études de mathématiques.....	57
1. Introduction	57
2. Le modèle du développement de la pensée géométrique selon Van Hiele	59
3. Questions de recherche et méthodologie	64
4. Prémisses de l'analyse en s'appuyant sur certains aspects des théories piagétienne et vygotskienne	66
5. Résultats de l'analyse comparative entre le modèle de développement de la pensée géométrique et les programmes d'études	67
5.1 Les cycles d'enseignement correspondent-ils aux niveaux de développement de la pensée géométrique ?	67

5.2	Les compétences sont-elles correctement déclinées en fonction de chaque niveau de développement de la pensée géométrique ?	68
5.3	Limites de l'approche utilisée étant donné l'imprécision des intitulés des programmes	70
5.4	Mise en avant des limites du modèle de Van Hiele en regard aux programmes d'études analysés.....	71
6.	Utiliser des théories développementales pour vérifier le continuum pédagogique proposé dans les programmes d'études	72
7.	Discussions et conclusions, pour une complémentarité des modèles de développement.....	73

Chapitre 3 Quelle place pour l'espace à l'école ?..... 77

1.	Qu'est-ce que l'espace ?.....	77
2.	Un espace, des espaces	79
2.1	De l'espace subi à l'espace représenté, évolution de la structuration de l'espace en référence aux stades du développement piagétien	80
2.2	De l'espace perceptif à l'espace euclidien	84
2.3	L'égocentrisme et la décentration	88
3.	De l'espace sensible à l'espace géométrique	90
3.1	Différencier l'espace sensible géométrique en fonction de sa taille : du micro-espace au macro-espace	90
3.2	Des espaces sensible et géométrique aux connaissances spatiale et géométrique	91
3.3	Entre l'espace sensible et l'espace géométrique... l'espace spatio-géométrique et l'espace graphique.....	94
3.3.1	Le conflit VU/SU.....	95
3.4	Caractérisation des problématiques spatiales, géométriques et spatio-géométriques.....	97
4.	De l'espace sensible à l'espace géographique	99
4.1	Différencier l'espace sensible géographique en fonction de sa taille : de l'espace figural à l'espace géographique.....	99
4.2	Évolution de la géographie comme science de l'organisation de l'espace et des pratiques et représentations spatiales.....	100
4.3	Des espaces sensible et géographique aux connaissances spatiale et géographique.....	103
5.	La cognition spatiale.....	105
5.1	Mise au point terminologique	105
5.2	Les référentiels spatiaux.....	106
5.2.1	Les cadres de référence égocentriques, allocentriques et la mise à jour égocentrée.....	106
5.2.2	Référentiels relatif, intrinsèque et extrinsèque	107

5.3	La cognition spatiale, définitions	108
5.3.1	De la carte cognitive à la représentation externalisée	110
5.3.2	Apports en neuro-cognition : La découverte des « place cells » et des « grid cells » ou l'histoire d'un prix Nobel.....	114
5.3.3	Les apports des théories constructivistes : modèles d'acquisition et d'utilisation des connaissances spatiales pour la navigation	116
5.4	Raisonnement spatialement pour appréhender l'espace : quelles habiletés spatiales faut-il exercer ?.....	122
5.4.1	Orientation spatiale	123
5.4.2	Visualisation spatiale	123
5.4.3	Rotation mentale spatiale	124
5.4.4	Décentration.....	125
5.4.5	La rotation mentale comme un changement de perspectives ?	127
5.4.6	Mémorisation spatiale & modèles mémoriels.....	128
5.4.7	Navigation spatiale	133
5.4.8	Représentation spatiale.....	137
6.	Représentation intégrée du cadrage théorique.....	139
7.	Y a-t-il encore une utilité à enseigner les notions spatiales à l'école ?	140
8.	Importance des acquis spatiaux dans les programmes d'études	142
8.1	La notion d' « espace » transparait-elle dans les programmes d'études ?	143
8.2	Quelles sont les habiletés spatiales qui transparaissent dans les programmes d'études ?	144

Chapitre 4 Evaluations Externes Non-Certificatives, Programme international pour le suivi des acquis des élèves ... nos élèves sont-ils performants dans des tâches spatiales ?..... 159

1.	Description des EENC	159
2.	Quelques mots sur l'enquête PISA.....	164
3.	Relevé des difficultés des élèves.....	166
3.1	EENC	166
3.1.1	Les acquisitions spatiales dans le domaine des mathématiques	167
3.1.2	Les acquisitions spatiales en formation géographique	179
3.1.3	Préciser les lacunes et difficultés des élèves en tirant des enseignements des EENC.....	185
3.2	L'enquête internationale PISA.....	192

Partie II DES COMPÉTENCES SCOLAIRES AUX PROCESSUS COGNITIFS IMPLIQUÉS EN GÉOGRAPHIE ET EN GÉOMÉTRIE

Chapitre 5 La localisation de villes sur carte muette, une simple restitution de connaissances géographiques ?..... 205

1.	Introduction	206
2.	Présentation de l'enquête, méthodologie & recueil de données.....	210
2.1	Une technique inspirée des cartes cognitives	210

2.2	Echantillon	211
2.3	Recueil des données	212
2.4	L'analyse des données.....	213
3.	Résultats & interprétations	214
3.1	Les élèves ont-ils replacé les 15 villes demandées sur la carte muette ? Les différences sont-elles dépendantes des caractéristiques des villes ?	214
3.2	L'âge des élèves est-il un facteur influençant les connaissances et représentations spatiales ?	221
4.	Conclusions de l'enquête : entre connaissances géographiques et représentations spatiales	224
Chapitre 6 Les empreintes et opérations de section de solides		229
1.	Introduction	229
2.	Retour sur l'expérience piagétienne	230
3.	Questions de recherche.....	232
4.	Échantillon	233
5.	Description du matériel et de l'expérimentation	234
5.1	Le matériel utilisé	234
5.2	Déroulement de l'expérimentation	234
6.	Recueil et analyses des données	238
7.	Résultats	239
7.1	Y a-t-il des différences de performances en termes de scores moyens en fonction de l'âge des élèves ?	239
7.1.1	Analyses descriptives.....	239
7.1.2	Analyses inférentielles.....	240
7.2	Y a-t-il des différences de scores moyens des exercices d'empreintes et de sections de solides en fonction de l'âge des élèves ?	242
7.2.1	Analyses descriptives.....	242
7.2.2	Analyses inférentielles.....	244
7.3	Y a-t-il des différences de scores moyens relatifs aux solides géométriques en fonction de l'âge des élèves ?.....	249
7.3.1	Analyses descriptives.....	250
7.3.2	Analyses inférentielles.....	252
8.	Utilisation de la statistique implicative en vue de définir une classification hiérarchique d'exercices de visualisation spatiale	257
8.1	Création d'un arbre des similarités pour présenter les ressemblances entre les exercices proposés.....	257
8.2	Le graphe implicatif : classification hiérarchique des exercices en visualisation spatiale	259
9.	Quelles sont les erreurs-types principalement commises en fonction des âges ?	261
10.	Discussions & Conclusions	266

Partie III EVALUER L'HABILETÉ DE NAVIGATION SPATIALE À PARTIR D'ENVIRONNEMENTS VIRTUELS

Chapitre 7 Un ensemble intégré d'expérimentations 279

1. Introduction	279
2. Matériel & méthodes.....	281
2.1 Description des environnements utilisés.....	281
2.1.1 Des villes virtuelles créées sur mesure	281
2.1.2 V-Squarecity & V-Sinuosity, deux villes virtuelles distinctes.....	282
2.2 Description des exercices spatiaux demandés	285
2.2.1 Exercices de navigation par « reproduction » (parcours de navigation par « reproduction »).....	285
2.2.2 Exercices de navigation par « décentration » (parcours de navigation par « décentration »)	286
2.2.3 Exercices spatiaux relatifs au mécanisme d'Intégration du Chemin (IC)...	287
2.3 Caractérisation des parcours de « reproduction » et de « décentration » en termes de nombre de points de décision et de nombre de points d'inflexion	287
2.4 Evaluer la connaissance des itinéraires en privilégiant le point de vue égocentrique et l'activité physique du participant	288
2.4.1 Le point de vue égocentrique	288
2.4.2 Activité du participant et interfaces comportementales	289
2.5 Entretiens cognitifs	290
2.6 Échantillonnage.....	292
2.6.1 Critères d'inclusion	292
2.6.2 Épreuves psychométriques.....	293
3. Recueil & analyse de données	296
3.1 Les données relatives aux exercices de navigation.....	296
3.2 Les données issues des entretiens cognitifs	298
4. Brève description des quatre expérimentations réalisées.....	304

Chapitre 8 Estimation de la complexité des tâches de navigation 309

1. Expérimentation 1 : Exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity	312
1.1 Questions & Hypothèses	312
1.2 Rappel de l'exercice de navigation par « reproduction » (parcours de reproduction).....	313
1.3 Echantillon	315
1.4 Présentation des données utilisées	315
1.5 Résultats.....	316
1.6 Synthèse des résultats de l'expérimentation 1	327

2.	Expérimentation 2 : Exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity	328
2.1	Questions & Hypothèses	328
2.2	Rappel de l'exercice de navigation par « décentration » (parcours de décentration)	330
2.3	Echantillon	330
2.4	Présentation des données utilisées	331
2.5	Résultats	332
2.6	Synthèse des résultats de l'expérimentation 2	342
3.	Les exercices de navigation par « reproduction » sont-ils davantage réussis que les exercices de « décentration » dans V-Squarecity ?	343
3.1	Hypothèse	343
3.2	Echantillon & présentation des données utilisées	344
3.3	Résultats	344
3.3.1	Toutes tranches d'âges confondues	344
3.4	Synthèse des résultats	348
4.	Expérimentation 3 : Impact du changement de pourcentage de la coloration du bâti	348
4.1	Question de recherche	348
4.2	Description des exercices de navigation demandés	349
4.3	Echantillon & présentation des données utilisées	350
4.4	Résultats de l'expérimentation	351
4.5	Synthèse des résultats de l'expérimentation 3	356
5.	Expérimentation 4 : Utilisation combinée de V-Squarecity et de V-Sinuosity	357
5.1	Question de recherche	357
5.2	Description des exercices demandés	357
5.3	Echantillon & présentation des données utilisées	358
5.4	Résultats de l'expérimentation	358
5.5	Synthèse des résultats de l'expérimentation 4	360
6.	Discussions du chapitre 8	360
7.	Un cas particulier, le parcours « 9_2 »	369
Chapitre 9 Analyse des stratégies déclarées être utilisées lors des exercices de navigation		373
1	Mise au point terminologique concernant les stratégies	376
2.	Expérimentation 1 : Les stratégies déclarées être mobilisées pour effectuer les exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity	378
2.1	Questions & Hypothèse	378
2.2	Rappel de l'expérimentation 1 & de l'échantillon	378

2.3	Données utilisées	379
2.4	Résultats	380
2.5	Synthèse des résultats de l'expérimentation 1	385
3.	Expérimentation 2 : Les stratégies déclarées être utilisées pour effectuer les exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity	387
3.1	Questions & Hypothèses	387
3.2	Rappel de l'expérimentation 2, de l'échantillon & des données utilisées ..	387
3.3	Résultats	388
3.4	Synthèse des résultats de l'expérimentation 2	393
4.	Les stratégies déclarées être mobilisées par les participants diffèrent-elles en fonction de la complexité des exercices de navigation demandés ?	395
4.1	Questions	395
4.2	Echantillon et présentation des données utilisées	395
4.3	Résultats	396
4.4	Synthèse des résultats	402
5	Expérimentation 3 : Impact du changement de pourcentage de la coloration du bâti sur les stratégies déclarées être mobilisées lors des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity	403
5.1	Question de recherche	403
5.2	Rappel de l'expérimentation 3 & de l'échantillon	404
5.3	Les données utilisées	405
5.4	Résultats	407
5.5	Synthèse des résultats de l'expérimentation 3	415
6.	Expérimentation 4 : Impact de l'utilisation combinée de V-Squarecity et V-Sinuosity sur les stratégies déclarées être mobilisées lors des exercices de navigation par « reproduction »	417
6.1	Questions	417
6.2	Rappel de l'expérimentation 4 & de l'échantillon	418
6.3	Résultats	419
6.4	Synthèse des résultats de l'expérimentation 4	423
7.	Discussions du chapitre 9 (Stratégies déclarées)	424
	Conclusion de la Partie III	429
	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	435
1	Perspectives (aspects appliqués)	436
2.	Perspectives (aspects fondamentaux)	437
	Bibliographie	443

Liste des figures

- Figure 2.1 - Illustration des cinq phases successives du modèle de Van Hiele (représentation libre à partir de Van Hiele, 1959)
- Figure 2.2 - Extrait du programme d'études de 3e année secondaire de mathématiques
- Figure 2.3 - Illustration de la mise en relation des programmes d'études avec les niveaux de Van Hiele
- Figure 2.4 - Répartition des compétences dans les cinq niveaux proposés par Van Hiele
- Figure 2.5 - Répartition des compétences dans les cinq niveaux proposés par Van Hiele en fonction des cycles d'enseignement
- Figure 2.6 - Extrait du programme d'études de mathématiques de 3e année de l'enseignement secondaire (Ministère de la Communauté française, 2000, p. 22)
- Figure 3.1 - Évolution de la structuration de l'espace en référence aux stades du développement piagétien
- Figure 3.2 - Evolution de l'espace perceptif à l'espace euclidien
- Figure 3.3 - Perception des espaces vers la représentation (illustration modifiée d'après Bailly, 1974)
- Figure 3.4 - Représentation des différents espaces
- Figure 3.5 - Traitement des informations spatiales à travers des cadres de référence et des référentiels
- Figure 3.6 - Illustrations graphiques des « place cells » et des « grid cells » (The Nobel Assembly at Karolinska Institute, Mattias Karlen©)
- Figure 3.7 - Exemple d'items utilisés par Shepard & Metzler (1971)
- Figure 3.8 - Matériel utilisé par Meyer (1935) et Piaget & Inhelder (1948) pour réaliser l'expérience des trois montagnes
- Figure 3.9 - Représentation du modèle mémoriel d'Atkinson & Shiffrin (1968)
- Figure 3.10 - Modèle MNESIS proposé par Desgranges & Eustache (2011)
- Figure 3.11 - Illustration de la taxonomie proposée par Arleo & Rondi-Reig (2007) décrivant les stratégies de navigation spatiale en regard de la flexibilité de l'information spatiale et de la complexité du traitement cognitif
- Figure 3.12 - Modèle intégrateur (inspiré de Bailly, 1974 ; Piaget & Inhelder, 1948)
- Figure 4.1 - Question 1 relative à la compétence « Se situer et situer des objets » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 21)
- Figure 4.2 - Question 2 relative à la compétence « Se situer et situer des objets » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 33)
- Figure 4.3 - Question 3 (à gauche) et question 4 (à droite) relatives à la compétence « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 19)
- Figure 4.4 - Question 5 (à gauche) et question 6 (à droite) relatives à la compétence « Tracer des figures simples » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 18)

- Figure 4.5 - Question 7 (item A., à gauche et item B., à droite) relative à la compétence « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 34)
- Figure 4.6 - Question 8 (à gauche), question 9 (au centre) et question 10 (à droite) relatives à la compétence « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 35-36)
- Figure 4.7 - Question 11 et question 12 (items A., B. et C.) relatives à la compétence « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 5e primaire, 2011, p. 28 et p. 31)
- Figure 4.8 - Question 13 (à gauche) relative à la compétence « Effectuer le mesurage en utilisant des étalons familiers et conventionnels et en exprimer le résultat » et les questions 14 (au centre) et 15 (à droite) relatives à la compétence « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 5e primaire, 2011, p. 9, p. 13 et p. 15)
- Figure 4.9 - Question 16 (item A., B. et C.) relative à la compétence « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 5e primaire, 2011, p. 12 et p. 14)
- Figure 4.10 - Question 17 (items A. et B.) relative à la compétence « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 5e primaire, 2011, p. 14)
- Figure 4.11- Question 18 (item A., à gauche et item B., à droite) et question 19 relatives à la compétence « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/ Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e secondaire, 2011, p. 35)
- Figure 4.12 - Question 20 et question 21 relatives à la compétence « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/ Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e secondaire, 2011, p. 38)
- Figure 4.13 - Question 22 (au-dessus à gauche), question 23 (question au-dessus à droite) et question 24 (en-dessous) relatives à la compétence « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/ Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e secondaire, 2011, p. 36 et p. 37)
- Figure 4.14 - Question 25 (item A., au-dessus et item B., en-dessous) relative au savoir-faire et savoir « Lire une image géographique / Identifier » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 20)
- Figure 4.15 - Question 26 (item A. et item B.) et question 27 (item a., b., c. et d.) relative au savoir-faire « Situer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 27, p. 28)
- Figure 4.16 - Question 29 relative à la compétence « Utiliser des repères spatiaux » (item A., p.22) et « Utiliser des représentations spatiales » (items B. à E., p. 20, 21) (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, formation historique et géographique, 5e primaire, 2011)

Figure 4.17 - Question 30 (items A.-E.) relative à la compétence « Localiser un lieu, un espace » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du portfolio, EENC, 5e année primaire, p. 14 et extrait du carnet d'élève, EENC, formation historique et géographique, 5e primaire, 2011, p.28)

Figure 4.18 - Question 32 (items A.-F.) relative à la compétence « Utiliser des repères spatiaux et des représentations spatiales pour situer des faits dans l'espace » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du portfolio, EENC, 2e année secondaire et extrait du carnet d'élève, EENC, formation historique et géographique, 2e année secondaire, 2011, p.17)

Figure 4.19 - Exemple de question issu de l'enquête PISA (catégorie « espace et formes »)

Figure 4.20 - Parts d'élèves de l'OCDE atteignant les niveaux de difficultés définis pour PISA 2003 et PISA 2012 (1 = niveau de difficulté le plus bas ; 6 = le niveau de difficulté le plus élevé)

Figure 4.21 - Données issues du rapport de l'OCDE (2014, p. 348)

Figure 5.1 - Interface du module d'encodage permettant le recueil des coordonnées [X ; Y] (en nombre de pixels) des villes situées par les élèves

Figure 5.2 - Représentation graphique de la dispersion des écarts absolus maximum par quartiles ou percentiles en fonction des villes localisées (N = 363 élèves)

Figure 5.3 - Localisation de la ville de Bruxelles

Figure 5.4 - Localisation de la ville de Mons

Figure 5.5 - Localisation de la ville d'Ath

Figure 5.6 - Localisation de la ville de Courtrai

Figure 5.7 - Représentations graphiques des moyennes des écarts relatifs calculés par âge

Figure 5.8 - Représentations graphiques des moyennes des écarts absolus calculés par âge

Figure 5.9 - Graphique représentant le nombre d'élèves (%), par tranches d'âges, n'ayant pas localisé les villes demandées

Figure 5.10 - Représentation graphique de la dispersion des écarts absolus pour les percentiles 10 et 90 chez les élèves de 8-9 ans ; 10-11 ans ; 12-13 ans ; 14-15 ans (N = 363 élèves)

Figure 6.1 - Analyse descriptive : Performances en termes de scores moyens (%) en fonction des âges des élèves

Figure 6.2 - Analyse descriptive : Scores moyens pour chacune des empreintes (tous solides confondus) en fonction des âges des élèves

Figure 6.3 - Analyse descriptive : Scores moyens pour chacun des solides (toutes empreintes confondues) en fonction des âges des élèves

Figure 6.4 - Arbre de similarités relatif aux 16 exercices de visualisation spatiale

Figure 6.5 - Graphe implicatif au seuil 0,98 relatif aux exercices de visualisation spatiale proposés

Figure 7.1 - Aperçu de l'environnement virtuel dans sa version de base

Figure 7.2 - Illustrations de V-Squarecity (plan de la ville à gauche ; point de vue égocentrique à droite et QR Code en dessous)

Figure 7.3 - Illustrations de V-Sinuositycity (plan de la ville à gauche ; point de vue égocentrique à droite et QR Code en dessous)

Figure 7.4 - Illustration d'une balise dans la ville virtuelle

Figure 7.5 - Participant qui navigue dans l'environnement virtuel à l'aide de la manette de jeu

- Figure 8.1 – Analyse descriptive : Performances en termes de scores moyens (%) en fonction des âges des participants
- Figure 8.2 – Statistiques descriptives - Performances de réussite des participants (en %) en fonction des tranches d'âges pour chacun des parcours réalisés dans V-Squarecity
- Figure 8.3 – Statistiques descriptives - Performances de réussite des participants (en %) en fonction des parcours « reproduction » caractérisés par un nombre de points de décision (nPD)
- Figure 8.4 - Performances de réussite des participants (en %) en fonction des parcours « reproduction » caractérisés par un nombre de points d'inflexion (nPI)
- Figure 8.5 – Analyse descriptive : Performances en termes de scores moyens (%) en fonction des âges des participants
- Figure 8.6 - Statistiques descriptives – Performances de réussite des participants (en %) en fonction des tranches d'âges pour chacun des parcours de « décentration » réalisés dans V-Squarecity
- Figure 8.7 - Statistiques descriptives – Performances de réussite des participants (en %) en fonction des parcours « décentration » caractérisés par un nombre de points de décision (nPD)
- Figure 8.8 - Statistiques descriptives – Performances de réussite des participants (en %) en fonction des parcours « décentration » caractérisés par un nombre de points d'inflexion (nPI)
- Figure 8.9 – Statistiques descriptives – Scores moyens des groupes ayant réalisé les exercices de navigation par « reproduction » ou par « décentration » (toutes tranches d'âge confondues)
- Figure 8.10 – Statistiques descriptives – Scores moyens des groupes ayant réalisé les exercices de navigation par « reproduction » ou par « décentration » (par tranches d'âge)
- Figure 8.11 – Statistiques descriptives – Pourcentages de réussite (en %) des parcours en fonction de la coloration du bâti de la ville
- Figure 8.12 – Statistiques descriptives – Pourcentages de réussite (en %) de chacun des parcours réalisés en fonction de la coloration du bâti de la ville
- Figure 8.13 – Statistiques descriptives – Pourcentages de réussite des parcours réalisés en fonction du changement de coloration du bâti de la ville
- Figure 8.14 – Statistiques descriptives – Pourcentages de réussite (en %) des deux parcours réalisés dans les deux villes
- Figure 8.15 – Statistiques descriptives - Performances des élèves (% de réussite par tranches d'âges) en fonction des parcours réalisés
- Figure 9.1 – Pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies (%) lors des exercices de navigation par « reproduction » (toutes tranches d'âges confondues)
- Figure 9.2 – Regroupement des stratégies mises en œuvre en quatre catégories et présentation des pourcentages des participants (par tranches d'âges) qui déclarent avoir utilisé une de ces stratégies lors des exercices de « reproduction »
- Figure 9.3 – Pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies (%) lors des exercices de navigation par « décentration » (toutes tranches d'âges confondues)
- Figure 9.4 – Regroupement des stratégies mises en œuvre en quatre catégories et présentation des pourcentages des participants (par tranches d'âges) qui déclarent avoir utilisé une de ces stratégies lors des exercices de « décentration »

- Figure 9.5 – Statistiques descriptives concernant les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une catégorie de stratégies lors des exercices de navigation par « reproduction » ou « décentration »
- Figure 9.6 - Pourcentages de participants répartis par tranches d'âges ayant déclaré avoir utilisé une stratégie de réponse (Catégorie Stratégie de réponse) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration"
- Figure 9.7 - Pourcentages de participants répartis par tranches d'âges ayant déclaré avoir utilisé une stratégie de comptage (Catégorie Stratégie de comptage) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration"
- Figure 9.8 - Pourcentages de participants répartis par tranches d'âges ayant déclaré avoir utilisé une stratégie mixte (Catégorie Stratégie mixte) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration"
- Figure 9.9 - Pourcentages de participants répartis par tranches d'âges ayant déclaré avoir utilisé une autre stratégie (Catégorie Autres stratégies) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration"
- Figure 9.10 - Pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie (par catégorie) dans les villes présentant un pourcentage de coloration du bâti différent
- Figure 9.11 - Stratégies déclarées (par catégorie) avoir été mobilisées pour la réalisation de chacun des parcours réalisés dans une ville présentant un pourcentage de coloration du bâti différent
- Figure 9.12 – Pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies lors de la réalisation de chacune des deux séries de parcours réalisés
- Figure 9.13 - Pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une stratégie pour effectuer les parcours dans des villes présentant des pourcentages de coloration différents
- Figure 9.14 - Stratégies que déclarent avoir mis en œuvre les participants (%) pour réaliser les parcours dans V-Squarecity et V-Sinuosity
- Figure 9.15 - V-Squarecity version avancée
- Figure 9.16 - V-Sinuosity version avancée

Liste des Tableaux

- Tableau 1.1 - Compétences disciplinaires issues des programmes d'études de mathématiques et de géographie ayant trait à l'espace
- Tableau 1.2 - Exemples d'explications du concept « compétence » fournis par les enseignants lors des entretiens
- Tableau 1.3 - Eléments de définition fournis par chaque enseignant, pour ceux se référant de façon implicite au Décret missions et au message des conseillers pédagogiques
- Tableau 2.1 - Description du modèle de Van Hiele (1959)
- Tableau 2.2 - Eléments théoriques servant à l'analyse des programmes d'études
- Tableau 2.3 - Exemples de classement d'intitulés effectué par rapport au modèle de Van Hiele
- Tableau 2.4 - Exemples d'incohérences issus des programmes d'études (primaire et 1ère année secondaire)
- Tableau 2.5 - Exemples d'incohérences issus des programmes d'études (enseignement primaire et 2e année secondaire)
- Tableau 3.1 - Extraits des programmes d'études pour illustrer l'habileté « navigation spatiale »
- Tableau 3.2 - Extraits des programmes d'études pour illustrer l'habileté « orientation spatiale »
- Tableau 3.3 - Extraits des programmes d'études pour illustrer l'habileté « visualisation spatiale » (en construction)
- Tableau 3.4 - Extraits des programmes d'études pour illustrer l'habileté « changement de perspectives »
- Tableau 3.5 - Extraits des programmes d'études d'éveil géographique/de géographie pour illustrer l'habileté « navigation spatiale »
- Tableau 3.6 - Extraits des programmes d'études d'éveil géographique/géographie pour illustrer l'habileté « orientation spatiale »/« navigation spatiale »
- Tableau 3.7 - Extraits des programmes d'études d'éveil géographique/géographie pour illustrer l'habileté « orientation spatiale »/ « visualisation spatiale »
- Tableau 3.8 - Extraits des programmes d'études d'éveil géographique/géographie pour illustrer l'habileté « changement de perspectives »
- Tableau 4.1 - Résultats des questions et items relatifs à la compétence « Se situer et situer des objets » (Extrait modifié du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », p.8)
- Tableau 4.2 - Résultats des questions et items relatifs aux compétences « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer », « Tracer des figures simples » (Extraits modifiés du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », p. 9, p. 10)
- Tableau 4.3 - Résultats des questions et items relatifs aux compétences « Effectuer le mesurage en utilisant des étalons familiers et conventionnels et en exprimer le résultat » et « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes » (Extraits modifiés du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », EENC, p.5, p.6)

Tableau 4.4 - Résultats des questions et items relatifs à la compétence « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/ Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur » (Extrait modifié du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », EENC, p.7)

Tableau 4.5 - Résultats des questions et items relatifs aux savoir-faire et savoir « Lire une image géographique/Savoir Identifier » et « Situer » (Extraits modifiés du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », EENC, p.5, p.6)

Tableau 4.6 - Résultats des questions et items relatifs aux savoir-faire et savoir « Lire une image géographique » et « Utiliser des repères spatiaux » et « Utiliser des représentations spatiales » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, Extraits modifiés du document « Résultats et commentaire », p.8-9)

Tableau 4.7 - Résultats de la question et des items relatifs à la compétence « Localiser un lieu, un espace » (Extraits modifiés du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », EENC, p.8)

Tableau 4.8 - Résultats de la question relative à la compétence « Utiliser des repères spatiaux et des représentations spatiales pour situer des faits dans l'espace » (Extrait modifié du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », 2e secondaire, p. 9)

Tableau 4.9 - Nombre d'items relatifs aux connaissances spatiales en mathématiques et en géographie en fonction des trois années d'études

Tableau 4.10 - Pourcentages de réussite et écarts-types associés pour les items relatifs aux connaissances spatiales en fonction des trois années d'études

Tableau 4.11 - Compétences et tâches spécifiques réalisées par l'élève en fonction du niveau de difficulté (OCDE, 2004, p.58-59 ; OCDE, 2014, p.112)

Tableau 5.1 - Extrait des Socles de Compétences, Formation historique et géographique comprenant la formation à la vie sociale et économique (p. 84-85)

Tableau 5.2 - répartition du nombre d'élèves en fonction de leur âge

Tableau 5.3 - Tableau présentant les pourcentages d'élèves n'ayant pas placé les villes demandées et les caractéristiques de celles-ci

Tableau 6.1 - Répartition du nombre d'élèves en fonction de leur âge

Tableau 6.2 - Description des exercices de visualisation spatiale demandés (quatre solides, des empreintes et trois sections/coupes)

Tableau 6.3 - Tableau reprenant les réponses attendues

Tableau 6.4 - Analyse inférentielle : ANOVA à un facteur réalisée à partir des scores moyens

Tableau 6.5 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens

Tableau 6.6 - Analyses inférentielles : ANOVA à un facteur, réalisée à partir des scores moyens des empreintes (empreintes sans coupe et empreintes avec coupes)

Tableau 6.7 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens des empreintes sans coupe

Tableau 6.8 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens des empreintes après coupes transversales

Tableau 6.9 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens des empreintes après coupes longitudinales

Tableau 6.10 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens des empreintes après coupes obliques

Tableau 6.11 - Analyses inférentielles : ANOVA à un facteur, réalisée à partir des scores moyens des solides

Tableau 6.12 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens du cube (toutes empreintes confondues)

Tableau 6.13 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens du cône (toutes empreintes confondues)

Tableau 6.14 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens de la sphère (toutes empreintes confondues)

Tableau 6.15 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens du cylindre (toutes empreintes confondues)

Tableau 6.16 - Description des réponses des élèves concernant le cube

Tableau 6.17 - Description des réponses des élèves concernant le cône

Tableau 6.18 - Description des réponses des élèves concernant la sphère

Tableau 6.19 - Description des réponses des élèves concernant le cylindre

Tableau 7.1 - Fonctionnement du joystick

Tableau 7.2 - Stratégies de navigation définies, a priori, sur la base de la revue de la littérature

Tableau 7.3 - Stratégies de navigation « combinées » définies suite à la réalisation des pré-expérimentations

Tableau 7.4 - Exemples de codage de stratégies de repérage, de comptage et mixte

Tableau 7.5 - Exemple de stratégies relatives à l'élaboration de cartes cognitives et de stratégies combinées

Tableau 7.6 - Exemples de codage de stratégies kinesthésiques et de stratégies combinées

Tableau 7.7 - Description des expérimentations permettant de répondre à la première question principale

Tableau 8.1 - Description des expérimentations permettant de répondre à la première question principale

Tableau 8.2 - Parcours de « reproduction », réalisés dans V-Squarecity, lors de l'expérimentation 1

Tableau 8.3 - Echantillon d'élèves pour les exercices de navigation par « reproduction »

Tableau 8.4 - Analyse inférentielle : ANOVA à un facteur, réalisée à partir des scores moyens pour les parcours de navigation par « reproduction »

Tableau 8.5 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « reproduction »

Tableau 8.6 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « reproduction »

Tableau 8.7 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity en fonction de l'âge pour chacun des parcours considérés

Tableau 8.8 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de « reproduction », dans V-Squarecity, en fonction des parcours caractérisés par un nombre de points de décision (nPD)

Tableau 8.9 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de reproduction dans V-Squarecity en fonction des parcours caractérisés par un nombre de points d'inflexion (nPI)

Tableau 8.10 - Coefficients Alpha et rapports des coefficients Alpha (différences de pentes des droites de régression) concernant les parcours définis par un nPD et un nPI

Tableau 8.11 - Synthèse des résultats de la première expérimentation

Tableau 8.12 - Parcours de décentration réalisés dans V-Squarecity lors de la deuxième d'expérimentation

Tableau 8.13 - Echantillon d'élèves pour les exercices de navigation par « décentration »

Tableau 8.14 - Analyses inférentielles : ANOVA à un facteur, réalisée à partir des scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « décentration »

Tableau 8.15 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « décentration »

Tableau 8.16 - Performances (% de réussite) de tous les participants (tous âges confondus) pour les exercices spatiaux "décentration"

Tableau 8.17 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity en fonction de l'âge pour chacun des parcours considérés

Tableau 8.18 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de « reproduction » dans V-Squarecity en fonction des parcours caractérisés par un nombre de points de décision (NPD)

Tableau 8.19 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de « reproduction » dans V-Squarecity en fonction des parcours caractérisés par un nombre de points d'inflexion (NPI)

Tableau 8.20 - Synthèse des résultats de la deuxième expérimentation

Tableau 8.21 - Statistiques inférentielles - Comparaison des scores moyens pour les exercices de « reproduction » et « décentration »

Tableau 8.22 - Synthèse des résultats portant sur la comparaison des exercices de navigation proposés

Tableau 8.23 - Parcours de navigation par « reproduction » proposés lors de la troisième expérimentation

Tableau 8.24 - Statistiques inférentielles relatives aux pourcentages de réussite en fonction de la coloration du bâti pour chacun des parcours réalisés

Tableau 8.25 - Statistiques inférentielles relatives aux pourcentages de réussite en fonction du changement de la coloration du bâti

Tableau 8.26 - Synthèse des résultats portant sur la troisième expérimentation

Tableau 8.27 - Parcours de « reproduction » réalisés dans V-Squarecity ou V-Sinuosity lors de l'expérimentation 3

Tableau 8.28 - Synthèse des résultats de la quatrième expérimentation

Tableau 9.1 - Description des expérimentations permettant de répondre à la deuxième question principale

Tableau 9.2 - Echantillon d'élèves pour les exercices de navigation par « reproduction »

Tableau 9.3 - Description des stratégies mises en œuvre par les participants, pour les exercices de navigation par « reproduction » (% par tranches d'âge)

Tableau 9.4 - Statistiques inférentielles relatives aux catégories de stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants (en fonction de leur appartenance à une tranche d'âge) lors de la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity

Tableau 9.5 - Synthèse des résultats portant sur les stratégies déclarées lors de la première expérimentation

Tableau 9.6 - Echantillon d'élèves pour les exercices de navigation par « décentration »

Tableau 9.7 - Description des stratégies mises en œuvre par les participants, pour les exercices de navigation par « décentration » (% par tranches d'âge)

Tableau 9.8 - Statistiques inférentielles relatives aux catégories de stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants (en fonction de leur appartenance à une tranche d'âge) lors de la réalisation des exercices de navigation par « décentration »

Tableau 9.9 - Synthèse des résultats portant sur les stratégies déclarées lors de la deuxième expérimentation

Tableau 9.10 - Stratégies déclarées utilisées lors des exercices de « reproduction » et de « décentration » (par ordre de fréquence d'utilisation)

Tableau 9.11 - Statistiques inférentielles relatives aux stratégies déclarées être utilisées lors des exercices de « reproduction » et de « décentration »

Tableau 9.12 - Synthèse des résultats portant sur la comparaison des stratégies déclarées avoir été mobilisées lors des deux premières expérimentations

Tableau 9.13 - Parcours de navigation par « reproduction », proposés lors de la troisième expérimentation

Tableau 9.14 - Statistiques inférentielles relatives aux différences de stratégies déclarées avoir été utilisées dans des villes présentant des pourcentages de coloration du bâti différents

Tableau 9.15 - Statistiques inférentielles relatives aux stratégies déclarées avoir été utilisées dans des villes présentant des pourcentages de coloration différents

Tableau 9.16 - Statistiques inférentielles relatives aux pourcentages de réussite des participants déclarant avoir utilisé une des stratégies pour naviguer dans des villes présentant un pourcentage de colorations de bâti différent

Tableau 9.17 - Synthèse des résultats portant sur les stratégies déclarées lors de l'expérimentation 3

Tableau 9.18 - Parcours de « reproduction » ; réalisés dans V-Squarecity ou V-Sinuosity lors de l'expérimentation 4

Tableau 9.19 - Pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une catégorie de stratégies lors de la réalisation des parcours dans les deux villes virtuelles

Tableau 9.20 - Statistiques inférentielles relatives aux pourcentages de réussite des participants en fonction des stratégies déclarées avoir été mobilisées pour la réalisation de deux parcours dans des villes distinctes

Tableau 9.21 - Synthèse des résultats portant sur les stratégies déclarées lors de la quatrième expérimentation

Résumé

Comment les enfants et les adolescents appréhendent-ils un espace ? Quels sont les paramètres qui rendent des situations plus complexes que d'autres ? Quelles sont les stratégies mises en œuvre pour reproduire un itinéraire ou naviguer dans un espace particulier ? Cette thèse a pour objectif de fournir des éléments de réponse à ces questions. Située à mi-chemin entre les Sciences de l'Education et la Psychologie cognitive, celle-ci comporte trois volets.

Le premier volet de la thèse porte sur l'analyse d'une partie du curriculum prescrit (Socles de compétences et programmes d'études). Cette analyse permet de rendre compte d'incohérences tant internes qu'externes et de lacunes au niveau du curriculum belge francophone, qu'il s'agisse de savoirs, savoir-faire ou de compétences relatifs à l'espace et son appréhension. Si l'espace est présent dans de nombreuses disciplines (mathématiques et géographie, par exemple), la mise en œuvre d'activités spécifiques ne concerne de manière quasi-exclusive que l'enseignement maternel et fondamental et la place laissée à l'acquisition de connaissances spatiales durant l'enseignement secondaire s'amenuise au fur et à mesure des années jusqu'à devenir insignifiante, malgré une maîtrise parfois limitée par les élèves, notamment en géométrie.

Le deuxième volet de la thèse porte sur l'analyse du curriculum maîtrisé, au travers d'évaluations externes, comme les évaluations externes non certificatives (EENC) et les tests du Programme international pour le suivi des acquis des élèves, baptisé PISA. Ce volet permet de s'interroger sur ce qui est réellement acquis par les élèves durant l'enseignement fondamental et l'enseignement secondaire. L'analyse identifie les compétences et mécanismes spatiaux les plus difficilement acquis par les élèves (décentration, visualisation dans l'espace) et conduit à s'interroger sur les connaissances qui sont réellement évaluées par le biais de ces évaluations (connaissances disciplinaires versus connaissances spatiales) ainsi que sur le peu d'importance accordée aux connaissances spatiales dans les évaluations externes en Fédération Wallonie-Bruxelles. Toutes ces analyses ne reposent cependant que sur des informations acquises à travers d'épreuves « papier-crayon ».

Le troisième volet de la thèse poursuit l'analyse à travers une série d'expérimentations menées dans une perspective développementale, sur la base de situations plus riches (environnements 3D, réels ou virtuels, par exemple). Partant des prescriptions des

programmes d'études, des enseignements tirés des évaluations externes et d'observations réalisées en contexte scolaire, les mécanismes cognitifs spatiaux qui permettent aux enfants et adolescents d'appréhender un espace déterminé de façon à s'en constituer des représentations adéquates et efficaces pour réaliser des tâches de navigation sont alors étudiés. Les principaux résultats obtenus permettent d'identifier les paramètres des tâches de navigation spatiale qui accroissent la complexité de celle-ci, aussi bien en termes de tâches à réaliser qu'en termes d'environnements dans lesquels ces tâches doivent être réalisées. L'intérêt spécifique porté à l'identification de stratégies cognitives impliquées dans la réalisation de tâches complexes en navigation spatiale met aussi en évidence l'impact de la structuration de l'environnement sur les stratégies spatiales elles-mêmes. S'ils présentent un intérêt intrinsèque pour la compréhension des mécanismes fondamentaux mobilisés dans des exercices requérant la mise en œuvre d'habiletés spatiales chez les jeunes de 6 à 15 ans, ces résultats permettent aussi d'éclairer les concepteurs de programmes scolaires et les enseignants quant à certaines démarches importantes à mobiliser dans le contexte scolaire.

*« L'adulte normal ne se casse jamais la tête au
sujet des problèmes d'espace et de temps.
A son sens, tout ce qu'il faut penser à ce propos
a déjà été élaboré dans sa petite enfance.
Mais moi, je me suis développé si lentement que
je n'ai commencé à m'interroger sur l'espace et le
temps que quand j'étais déjà adulte.
En conséquence, j'ai creusé le problème plus à
fond que ne l'aurait fait un enfant ordinaire ».*

A. Einstein

Présentation des niveaux scolaires

<u>Niveaux scolaires en Belgique</u>			
Age	Enseignement	Classes d'enseignement	Cycles d'enseignement
5 ans	Maternel	3 ^e Maternelle	2 ^e Cycle
6 ans	Primaire/Fondamental	1 ^{ère} Primaire	
7 ans		2 ^e Primaire	
8 ans		3 ^e Primaire	3 ^e Cycle
9 ans		4 ^e Primaire	
10 ans		5 ^e Primaire	4 ^e Cycle
11 ans		6 ^e Primaire	
12 ans	Secondaire	1 ^{ère} Secondaire	5 ^e Cycle/1 ^{er} degré
13 ans		2 ^e Secondaire	
14 ans		3 ^e Secondaire	2 ^e degré
15 ans		4 ^e Secondaire	

Remerciements

J'adresse mes plus sincères remerciements à mon directeur de thèse, le Professeur Marc Demeuse, sans qui ce travail n'aurait jamais vu le jour. Merci « chef » pour la confiance accordée tout au long de ces années. Depuis mon arrivée dans le service Méthodologie et formation, je n'ai cessé d'apprendre et les précieux conseils prodigués m'ont toujours permis de dépasser mes propres limites... Merci encore.

J'adresse également mes remerciements au Fonds de la Recherche Scientifique – FNRS pour l'octroi d'un Mandat d'Aspirant.

Aussi, je voudrais remercier les enseignants ainsi que les directions de l'ensemble des établissements scolaires qui m'ont agréablement accueillie. Merci à tous les enfants qui ont participé aux parties expérimentales de ce travail.

Merci à Anne d'avoir partagé sa bonne humeur et d'avoir passé de longues heures à mettre en page cette thèse.

Merci à Geoffrey, Mélanie, Stéphane, Fanny et Nathanaël pour leur aide technique et leurs relectures.

Merci à Sabine, mon « ex- » collègue et amie, et à Ben, mon ami, pour les bons moments déjà passés ensemble.

Merci à Céline et à Valériane, mes sœurs, votre aide, votre soutien et vos sourires m'ont été très précieux. Et surtout, un grand Merci à Aline et à Etienne, mes parents, pour votre tendresse, pour toutes vos petites attentions du quotidien et pour le courage que vous m'apportez depuis toujours. Je ne saurais jamais assez vous en remercier.

Je souhaite remercier les membres de mon jury pour l'intérêt porté à cette thèse.

Je souhaite également remercier toutes celles et ceux, dont Steven, qui m'ont encouragée dans la réalisation de cette thèse.

INTRODUCTION

Introduction

L'Espace est une notion complexe, à plusieurs niveaux.

Difficilement définissable du fait de ses nombreuses caractéristiques, il en est tout autant difficilement appréhendable. Pourtant, l'individu et l'environnement sont intimement liés. En effet, la réciprocité de leurs interactions est indéniable. Qu'on en soit conscient ou non, l'espace fait partie de notre vie de tous les jours. De par ses actions, un individu est capable de modifier l'espace et, de par ses changements, ce dernier pourra induire un comportement différent chez l'individu. Ainsi, la modification de l'un peut entraîner la modification de l'autre.

Dans une perspective développementale, la structuration de l'espace se réalise en quatre temps et, qu'il soit subi, vécu, perçu ou représenté, son acquisition doit faire l'objet d'une stimulation dès la naissance. Pour l'individu, l'école aura donc un rôle fondamental à jouer dans le développement d'habiletés spatiales et, notamment dans la construction et l'utilisation de la représentation mentale de l'espace. De ce fait, les apprentissages spatiaux ne peuvent pas être négligés. Les habiletés spatiales doivent être entraînées car elles rendront l'individu apte à faire face à des situations aussi complexes que variées. En outre, elles lui permettront l'acquisition de nouveaux apprentissages à condition que les bases soient solidement ancrées. Parmi les habiletés spatiales qu'il convient de travailler, on peut citer : la visualisation, la navigation, l'orientation, le changement de perspectives, la rotation mentale et la représentation mentale.

Un espace existe à partir du moment où il est perçu et cette perception dépend d'abord, chez un individu sain, du système visuel. Pour cette raison, les recherches menées dans le cadre de cette thèse portent essentiellement sur l'exploitation d'informations objectivement perçues par le système visuel de l'individu dans des environnements aussi bien réels (support « papier-crayon », solides en trois dimensions) que virtuels (environnements prenant l'allure de villes où les déplacements sont simulés).

En intégrant progressivement des éléments issus du champ de la Psychologie cognitive au champ des Sciences de l'éducation, cette thèse a notamment pour objectif de répondre aux questions suivantes : Comment les enfants et les adolescents appréhendent-ils un espace ? Quels sont les paramètres qui complexifient les tâches de reproduction d'itinéraires et de navigation spatiale ? Quelles sont les stratégies mises en œuvre pour effectuer les dernières tâches citées ?

Structuration de l'écrit

Cet écrit est composé de trois parties, elles-mêmes scindées en plusieurs chapitres. La première partie, intitulée « Quelle place pour l'espace dans le curriculum ? État des lieux en Belgique francophone », comprend quatre chapitres. Les deux premiers chapitres abordent les aspects curriculaires eu égard au système éducatif belge francophone. Sur la base d'un état de l'art, les principaux termes relatifs au curriculum sont d'abord définis. Le degré de cohérence dans l'utilisation de la terminologie employée dans et entre les programmes est ensuite étudié. Les résultats de cette étude permettent de rendre compte des incohérences existantes et, en conséquence, conduisent à s'interroger sur le degré de maîtrise par les enseignants des notions-clés du « jargon pédagogique ». Faisant suite à l'étude de la cohérence terminologique intra- et inter- programmes, le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la cohérence de programmes d'études de mathématiques (parties « géométrie ») au regard de modèles de développement psycho-cognitif des élèves. Le modèle principalement mobilisé est celui de la pensée géométrique (Van Hiele, 1959). Le troisième chapitre porte sur le terme central de ce travail, à savoir l'espace. Après avoir défini l'espace au sens large et les différents espaces existants, un intérêt particulier est porté à la cognition spatiale et aux habiletés spatiales s'y rapportant. S'en suit un questionnement relatif à la place accordée à l'acquisition de connaissances spatiales à l'école et à l'utilité d'acquérir ces notions à l'heure où les nouvelles technologies (de géolocalisation, par exemple) sont omniprésentes dans notre vie quotidienne. Enfin, en prenant appui sur les résultats des élèves aux évaluations externes non-certificatives et à une des enquêtes internationales, l'objectif du quatrième chapitre est d'effectuer un relevé des difficultés des élèves belges francophones concernant l'acquisition de connaissances spatiales, géométriques et géographiques.

La deuxième partie de cet écrit, intitulée « Des compétences scolaires aux processus cognitifs impliqués en géographie et en géométrie », est constituée de deux chapitres. Le cinquième chapitre traite des connaissances géographiques. Il détaille une enquête, menée auprès d'enfants et d'adolescents âgés de 8 à 15 ans, portant sur la localisation de quinze villes belges sur une carte muette. Le sixième chapitre relate une expérimentation menée dans le domaine de la géométrie. Alors que l'ensemble des exercices proposés dans le cadre des EENC porte exclusivement sur des représentations 2D de solides 3D et ne s'effectue jamais à partir de la présentation de solides réels, une situation intermédiaire est alors proposée. Quatre solides différents (un cube, un cône, une sphère et un cylindre) sont alors présentés physiquement aux élèves. A partir de ces solides, deux exercices de visualisation spatiale sont proposés : la représentation d'empreintes de solides et l'anticipation de la forme de la surface que prendra la section d'un solide considéré.

La troisième partie de cette thèse est intitulée « Evaluer l'habileté de navigation spatiale à partir d'environnements virtuels ». L'objectif est ici de proposer des exercices de navigation par « reproduction » et par « décentration » dans des villes paramétrées. Le septième chapitre présente le matériel et le protocole expérimental utilisés lors des expérimentations menées. Le huitième chapitre a pour objectif d'identifier les paramètres de complexité des tâches de navigation proposées. Le neuvième chapitre présente, quant à lui, les stratégies déclarées avoir été utilisées par les participants lors des exercices de navigation demandés.

Enfin, les enseignements majeurs auxquels a conduit cette thèse sont repris en conclusions. Les nombreuses perspectives offertes par ce travail sont détaillées dans deux sections distinctes. Les premières perspectives portent sur les aspects appliqués tandis que les autres portent sur les aspects plus fondamentaux des recherches menées.

PARTIE I :

QUELLE PLACE POUR L'ESPACE DANS LE CURRICULUM ?

ÉTAT DES LIEUX EN BELGIQUE FRANCOPHONE

CHAPITRE 1 POLÉMIQUE ET POLYSÉMIE

AUTOUR DES TERMES DE COMPÉTENCE, SAVOIR-

FAIRE, SAVOIR

Chapitre 1 **Polémique et polysémie autour des termes de compétence, savoir-faire, savoir**

Afin d'apporter des éléments de réponse à la question « Quelle place pour l'espace dans le curriculum en Belgique francophone ? », il convient tout d'abord de développer les aspects curriculaires en regard du système éducatif belge francophone, de la littérature scientifique et des données issues de recherches menées en ce domaine. Ainsi, dans ce premier chapitre intitulé « Polémique et polysémie autour des termes de compétence, savoir-faire, savoir », une brève présentation de termes auxquels seront faits référence tout au long de ce travail, est réalisée. Dans le même temps, une attention particulière est portée au curriculum eu égard au système éducatif belge francophone. La fin du chapitre est consacrée à rendre compte de la vision non-unifiée du curriculum et des conséquences que cela engendre au niveau de la conception des programmes¹ et de l'utilisation des documents prescrits par les enseignants.

1. Description du système belge francophone par la définition de son curriculum

Avant de discuter de la place laissée à l'espace dans le curriculum, il semble opportun de présenter le système éducatif belge francophone et, dans le même temps, de définir les termes-clés auxquels font référence les acteurs directement concernés, que ce soit au niveau du système éducatif, du monde de la recherche et du monde politique. Dépendamment des contextes, le curriculum, les programmes d'études, les compétences, les savoir-faire, les savoirs... font l'objet d'appropriations diverses. Il y a, ainsi, matière à polémique et une certaine polysémie s'est installée autour de ces

¹Étant donné la multiplicité des programmes d'études de mathématiques, les propos tenus porteront essentiellement sur les programmes définis par le réseau de la Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB).

termes-clés sur lesquels il convient, avant tout, de s'accorder sur une acception commune.

1.1 Du curriculum prescrit au curriculum maîtrisé

Le terme « curriculum » désigne un plan d'action « *qui offre une vision d'ensemble, planifiée, structurée et cohérente des directives pédagogiques selon lesquelles organiser et gérer l'apprentissage en fonction des résultats attendus* », y compris au-delà des développements spécifiques opérés par les différents réseaux d'enseignement (Demeuse & Strauven, 2006, p.11). Le curriculum ne saurait donc se limiter aux programmes d'études (ibid., p. 9) et inclut, entre autres, les finalités et valeurs, les objectifs, les méthodes pédagogiques, les matériels, les procédés d'évaluation pour mesurer l'atteinte des objectifs, etc. (i.e. De Landsheere, 1979 ; D'Hainaut, 1985 ; Nadeau, 1988 ; Roegiers, 1997). Il est décliné en trois types : le « *curriculum prescrit* », le « *curriculum implanté* » et le « *curriculum maîtrisé* ». Le « *curriculum prescrit* » (Demeuse, 2013 ; Demeuse & Strauven, 2006, Jonnaert *et al.*, 2009 ; Audigier *et al.*, 2006) est constitué de l'ensemble des textes légaux ou officiels. En l'occurrence, pour la recherche, il s'agit du Décret missions² (Communauté française de Belgique, 1997), des décrets organisant l'enseignement, du document « Socles de compétences », des référentiels terminaux en sciences, des évaluations externes certificatives ou non, des programmes d'études... La notion de « curriculum implanté » recouvre, quant à elle, la manière dont les professionnels de l'éducation traduisent et transposent le curriculum prescrit pour le mettre en œuvre. Le troisième niveau du curriculum (*sensu largo*) est le « *curriculum maîtrisé* » (ou « *réalisé* ») qui désigne la partie du curriculum effectivement acquise par les apprenants.

1.2 Le système éducatif belge francophone : un cas particulier de la complexité

En matière de curriculum, la Belgique présente une situation particulière et complexe. Elle comporte, à la fois, trois systèmes extrêmement autonomes (il n'existe pas, en matière de curriculum, d'autorité commune à ces trois systèmes, ni même de lieu permanent de concertation entre eux) et, à l'intérieur de ceux-ci, un grand nombre de

² Le « Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre » sera, ici, appelé « Décret missions ».

structures publiques et privées subventionnées qui possèdent de très larges marges de manœuvre, y compris pour la définition des programmes d'études (point 1.3).

L'article 24 de la Constitution belge garantit, en effet, depuis 1831, la liberté d'enseignement. Celle-ci s'applique aux parents (choix de l'établissement scolaire) mais aussi aux écoles qui jouissent d'une très large autonomie dans la manière dont elles proposent leurs enseignements. La Loi dite du « Pacte scolaire » (1959) est le garant de trois principes fondamentaux du système éducatif belge : la liberté de choix de l'école par les parents, la fin des tensions entre les réseaux et la gratuité de l'enseignement. Cette loi a été votée avant la communautarisation de l'enseignement en 1989 et l'attribution des compétences en matière d'enseignement aux Parlements des trois communautés linguistiques du pays (Communauté flamande, Communauté germanophone et Communauté française, maintenant baptisée « Fédération Wallonie-Bruxelles »). Aujourd'hui, l'enseignement ne fait donc plus partie des prérogatives de l'Etat fédéral. Il n'y a donc pas, à proprement parler, de curriculum national mais trois curricula, un par communauté. La Loi dite du « Pacte scolaire » a permis de définir deux grands ensembles : les réseaux officiels et les réseaux libres subventionnés. Chacun de ces réseaux comprend des pouvoirs organisateurs différents, véritables autorités exerçant la responsabilité concrète d'organiser l'enseignement dans une ou plusieurs écoles. Ainsi, pour les réseaux officiels, le pouvoir organisateur est toujours une personne de droit public. L'organisation de l'enseignement dit « officiel » est réalisée par le réseau de la Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB) ou par le réseau des villes et des provinces. Pour les réseaux libres subventionnés, le pouvoir organisateur est une personne de droit privé et l'organisation de l'enseignement dit « libre » est constituée d'un réseau confessionnel (majoritairement catholique) et d'un réseau non confessionnel. Ce dernier est constitué d'écoles définissant leurs projets éducatifs et pédagogiques sur d'autres bases que les bases religieuses (pédagogies principalement actives, se référant à des penseurs tels que Decroly, Freinet...). A côté d'un enseignement formel, constitué en écoles réparties en réseau et subventionnées par l'autorité publique (la Fédération Wallonie-Bruxelles, pour ce qui concerne cet article), les parents ont aussi la faculté d'instruire leurs enfants à domicile, sous le contrôle de l'inspection scolaire.

1.3 Des programmes d'études rédigés par chacun des réseaux d'enseignement en prenant appui sur le « curriculum »

En Europe du Nord, le terme « curriculum » est, par tradition, associé aux documents formels, publiés par les autorités nationales (Sivesind, 2013), qui décrivent les buts et les contenus d'apprentissage qu'un groupe particulier d'élèves doit apprendre et acquérir à travers ses années d'études (Westbury 2007). Si le système éducatif belge dispose effectivement d'un « curriculum », celui-ci ne se conforme pas totalement à la définition fournie par Demeuse & Strauven (2006, p. 11), étant donné que la rédaction des programmes d'études est confiée aux différents réseaux d'enseignement.

Selon l'article 5, 15° du Décret missions du 24 juillet 1997 (Communauté française de Belgique, 1997), qui cadre tout l'enseignement obligatoire en Belgique francophone, un programme d'étude est « *un référentiel de situations d'apprentissage, de contenus d'apprentissage, obligatoires ou facultatifs, et d'orientations méthodologiques qu'un pouvoir organisateur définit afin d'atteindre les compétences fixées par le gouvernement pour une année, un degré ou un cycle* ». Pour rédiger leurs programmes d'études, les pouvoirs organisateurs (réseaux d'enseignement) doivent prendre en considération des documents cadres (tels que le Décret missions) et veiller à atteindre les exigences prescrites dans les Socles de compétences, au terme du premier degré de l'enseignement secondaire (grades 8), et dans les référentiels terminaux, au terme des 2e et 3e degrés de l'enseignement secondaire (grades 9 à 12). Ce sont ces documents cadres qui constituent le curriculum belge. Ainsi, le réseau de la Fédération Wallonie-Bruxelles dispose des programmes qu'il définit, le réseau des villes et des provinces se rapporte aux programmes des Provinces et Communes et les réseaux libres appliquent leurs propres programmes. Concrètement, dans une année d'étude donnée (dans une filière identique, de même forme et d'option), le contenu du cours est fixé par des programmes différents, puisqu'ils sont rédigés de façon autonome par chaque réseau, dans le respect du référentiel commun. Le principe de liberté d'enseignement conduit donc, inévitablement, à une pluralité dans l'approche des thèmes prescrits et, en conséquence, aboutit à une grande diversité des programmes d'études.

Afin de définir, de manière cohérente, l'ensemble du curriculum, les concepteurs doivent tenir compte du mode d'entrée car, comme le soulignent Demeuse & Strauven

(2006), les stratégies et processus d'enseignement/apprentissage, les situations d'évaluation ainsi que le choix du mode d'entrée dans le curriculum entretiennent entre eux de forts liens de dépendance.

2. Les compétences, savoir-faire et savoirs comme modes d'entrée du curriculum

Le développement d'un curriculum repose sur le choix d'un mode d'entrée particulier. Si l'entrée par les contenus-matières a prévalu jusqu'à la fin des années 70', elle a été remplacée par l'entrée par les objectifs pédagogiques jusqu'à la fin des années 90' (De Landsheere & De Landsheere, 1984 ; D'Hainaut, 1985). Actuellement, la conception d'un curriculum s'appuie davantage sur des approches « faibles » ou « invisibles » (Bernstein, 2007), telles celles par les compétences (Crahay & Forget, 2006), les « capacités » ou les « capabilities » (Ardouin, 2008, p. 15), etc. Tout en privilégiant l'approche par compétences, les programmes belges francophones actuels s'accordent pour conserver une place importante à d'autres apprentissages que sont les savoirs, les savoir-faire (De Vecchi, 1992) et les compétences spécifiques (appelées compétences disciplinaires).

2.1 Qu'entendre par « compétence » ?

Alors qu'il existe un consensus autour des termes de « savoir » et de « savoir-faire », l'examen des définitions du terme de « compétence » proposées dans la littérature scientifique (Perrenoud, 2000 ; De Ketele, 1993, 2001 ; Roegiers, 2000 ; Boutin, 2004 ; Rey *et al.*, 2006 ; Carette, 2007, 2009) et les textes officiels, tel le Décret missions en Belgique francophone (Communauté française de Belgique, 1997, p. 3), amènent à constater une grande diversité d'interprétation (Duroisin & Soetewey, 2012). Si Tardif (2006, p. 22) définit la compétence comme étant « *un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et la combinaison efficaces d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations* », d'autres auteurs insistent sur le caractère global, évolutif ou inédit du terme et proposent d'autres définitions (i.e. Beckers, 2002 ; Depover et Noël, 2005 ; Legendre, 2004 ; Perrenoud, 2000 ; Roegiers, 2000). Alors que des points communs peuvent être trouvés dans la mise en action de l'apprenant, dans la nécessité d'une finalité à l'action et dans le caractère complexe de celle-ci (*Ibid.*), les éléments de divergences sont

nombreux. La multiplicité des représentations des auteurs augmente encore lorsqu'on explore la diversité qui se cache au sein même des compétences, certains auteurs s'accordant sur l'existence de différents niveaux de compétences, sans s'entendre sur leur dénomination ni sur leurs limites respectives (voir, entre autres, Rey *et al.*, 2006 ; Carette, 2007). La prise en compte de ces différents niveaux est importante dans l'élaboration et la compréhension d'un curriculum car passer d'un niveau à un autre exige d'augmenter la dimension métacognitive de l'action. C'est cette dimension métacognitive qui permet non seulement de comprendre une situation, mais également d'identifier la façon de s'y prendre pour mener une tâche à bien dans cette situation (Crahay & Detheux, 2005 ; Legendre, 2008).

L'entrée dans le curriculum va donc avoir un impact sur les pratiques didactiques prônées dans les différentes disciplines pour favoriser les apprentissages de l'élève. En tout état de cause, si les choix sont sans conteste difficiles à poser en regard de la littérature scientifique, importante dans le domaine, il apparaît essentiel que les concepteurs de programmes prennent cet aspect en compte afin d'éviter la multiplication des entrées. Introduire de nombreux concepts et niveaux nécessite de les définir et de « *les relier entre eux pour avoir une chance que le curriculum soit perçu comme cohérent par les enseignants* » (Demeuse & Strauven, 2006, p. 96). Dans les programmes d'études actuels, seul le terme « compétence » est explicitement défini. La définition proposée est reprise de l'article 5 du Décret missions du 24 juillet 1997 qui présente la compétence comme étant une « *aptitude à mettre en œuvre un ensemble organisé de savoirs, de savoir-faire et d'attitudes permettant d'accomplir un certain nombre de tâches* ». Cette définition est complétée par une représentation du concept sous la forme d'un organigramme. Lors de formations continues notamment, les conseillers pédagogiques ont pour mission de compléter cette définition en mettant en avant le caractère inédit de la tâche ainsi que le fait qu'elle soit à réaliser sans aide pédagogique particulière. Les concepts de « savoir », « savoir-faire », « savoir-être »... ne sont, quant à eux, définis à aucun endroit dans les programmes d'études, ni même décrits en référence à des auteurs. Les seules indications disponibles sont mentionnées sous la forme de tableaux et de listings reprenant l'ensemble des contenus visés.

2.2 Mise en avant des incohérences terminologiques dans et entre les programmes d'études

Malgré la présence d'une définition du terme « compétence », proposée et illustrée dans la partie introductive de la plupart des programmes d'études, les enseignants se trouvent confrontés à une autre difficulté, identifiée par l'analyse terminologique menée à partir des programmes : le manque de cohérence à l'intérieur même des prescrits légaux. L'analyse de ces derniers a permis de relever d'importantes incohérences et contradictions. En effet, les énoncés présentés en tant que « savoir », « savoir-faire », « attitude » ou « compétence » dans les documents curriculaires sont confondus à plusieurs reprises à l'intérieur de mêmes programmes (Tableau 1.1). On relève, par exemple, dans les programmes d'études de géographie et de mathématiques, nombre d'items qui sont identifiés comme des « compétences » à acquérir au terme de la scolarité alors qu'ils n'en sont pas réellement, en regard de la définition même qui est reprise dans ces documents.

Tableau 1.1 - Compétences disciplinaires issues des programmes d'études de mathématiques et de géographie ayant trait à l'espace

Disciplines (niveaux d'enseignement)	Exemples d'items identifiés comme étant des « compétences disciplinaires » dans les programmes d'études	Identification proposée par l'équipe de recherche pour le niveau d'étude concerné
Géographie (1 ^{er} degré de l'enseignement secondaire)	Utiliser l'atlas ;	Savoir-faire
	Lire une carte ;	Savoir-faire
	Lire une image géographique ;	Savoir-faire
Mathématiques (2 ^e degré de l'enseignement secondaire)	Dans des calculs ou une démonstration, utiliser les propriétés des proportions.	Savoir-faire
	Reconnaître des figures semblables et énoncer les critères utilisés.	Savoir
	Connaître, choisir et utiliser la formule adéquate pour résoudre un problème.	Savoir (connaître la formule) et savoir-faire (utiliser la formule)
	Reconnaître des figures isométriques et identifier une (ou des) isométrie(s) qui les applique(nt) l'une sur l'autre.	Savoir et savoir-faire

Par ces exemples, on constate que des éléments repris sous l'appellation de « compétences » n'en sont pas pour autant. Les items « Utiliser l'atlas », « Lire une carte » et « Lire une image géographique » s'apparentent à des savoir-faire et non à des compétences. De même, il paraît évident que « Reconnaître des figures semblables et énoncer les critères utilisés » et « Connaître la formule » sont des savoirs³.

2.3 Qu'entendent alors les enseignants par « compétence » ?

Une recherche qualitative menée auprès d'un échantillon de convenance de 23 enseignants a permis de mieux comprendre certains problèmes de conception du programme à travers la perception et les difficultés des usagers. Les enseignants ont répondu à un questionnaire et à une interview⁴ selon un canevas en entonnoir (Duroisin & Soetewey, 2011). Dans le cadre de cet échantillon de convenance, le but n'était pas d'estimer l'ampleur de chaque problématique mais de réaliser un inventaire aussi exhaustif que possible des problèmes rapportés par les enseignants, en regard de l'analyse des programmes qui a été menée par les chercheurs.

Ainsi, les enseignants ont fourni, pour la notion de compétence (Tableau 1.2), des définitions variées, imprécises ou lacunaires, et parfois peu conformes à la définition décrétaie (Duroisin *et al.*, 2012, Soetewey, Demeuse, Duroisin, Letor & Malaise, 2014), tout en laissant transparaître un degré d'incertitude assez élevé par rapport à leur bonne compréhension du cadre de référence (Duroisin & Soetewey, 2012). Une des raisons qui explique ces approximations est la variété terminologique à laquelle les enseignants sont confrontés à l'intérieur même des programmes d'études (voir le point 2.2), sans pour autant disposer des clés de lecture et des connaissances suffisantes pour percevoir les convergences et divergences sous-jacentes.

³ Le savoir est ici défini comme « un ensemble d'énoncés et de procédures socialement constituées et reconnues » et le savoir-faire comme étant « la capacité à modifier une partie du réel selon une intention, et ce, par les actes mentaux et gestuels appropriés » (Champy & Eteve, 2005).

⁴ Entretiens et enquêtes menés auprès de 23 enseignants du secondaire des degrés 2 et 3 (grades 9 à 12) du réseau d'enseignement organisé par la Fédération Wallonie-Bruxelles (échantillon de convenance pour assurer une représentation maximisée des différentes filières d'enseignement et une diversité géographique). L'analyse qualitative des informations a été réalisée à l'aide du logiciel NVivo9.

Tableau 1.2 - Exemples d'explications du concept « compétence » fournis par les enseignants lors des entretiens

Exemples de définitions du concept « compétence » fournies par les enseignants lors des entretiens	Degré de fiabilité
« ce qu'on entend par compétence c'est utiliser plusieurs savoirs, associés à plusieurs savoir-faire dans une situation nouvelle. Donc, quelque chose qu'ils n'ont jamais rencontré »	Fiabilité forte, modèle du Décret missions complété par les messages des conseillers pédagogiques
« Une compétence c'est un, c'est l'application de savoir-faire et de savoirs, dans une situation inconnue, voilà. Donc ils ont acquis des savoir-faire et des savoirs, pendant le cours, et il faudrait une situation nouvelle, dans laquelle ils utilisent ce qu'ils ont acquis »	Fiabilité forte, modèle du Décret missions complété par les messages des conseillers pédagogiques
« Ben c'est l'intersection entre le savoir, le savoir-faire et les attitudes, c'est ça... Oui, savoir, savoir-faire, attitudes, c'est l'intersection »	Fiabilité forte, modèle de l'intersection des trois cercles
« ... une compétence, puisqu'une compétence est un ensemble de savoirs, savoir-faire et savoirs-être, dans une seule phrase on ne sait pas... »	Fiabilité forte, modèle de l'intersection des trois cercles
« Ben c'est, c'est, c'est la ligne de conduite principale à tenir, c'est le contenu principal de la matière, que l'élève doit comprendre, c'est le franc qui doit tomber... »	Fiabilité très faible, définition erronée
« C'est d'arriver à inculquer à un élève une matière, euh (Petite pause), et qu'il puisse la trouver, pas lui donner et lui imposer, c'est qu'il puisse, euh, après, euh, diverses choses arriver à, par lui-même à la trouver »	Fiabilité très faible, définition erronée

Huit enseignants interrogés décrivent ce qu'est une compétence en se rapportant, d'une part, à la définition énoncée dans le Décret missions et, d'autre part, au message des conseillers pédagogiques (mentionnant le caractère inédit et non-pédagogique de la tâche) tandis que cinq autres font allusion, au moins partiellement, à la définition fournie par le Décret missions. Les informations contenues dans le Tableau 1.3 permettent de rendre compte des éléments de définition fournis par chaque enseignant qui se sont rapportés de manière implicite au décret et/ou au discours des conseillers pédagogiques. Le modèle de l'intersection des trois cercles permet à trois enseignants d'expliquer ce qu'est une compétence en mettant en avant le fait que la compétence désigne le croisement entre le savoir, le savoir-faire et le savoir-être.

Tableau 1.3 - Eléments de définition fournis par chaque enseignant, pour ceux se référant de façon implicite au Décret missions et au message des conseillers pédagogiques

	DECRET MISSIONS					+ INEDIT ET NON PEDAGOGIQUE							
Eléments de la définition	Profil de chaque enseignant												
Capacité					V								
Mettre en œuvre							V	V				V	V
Savoirs	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	(v)	V	V
Savoir-faire	v	V	v	V		V	V	(v)	V	V	(v)	V	V
Attitudes						V							
Tâche à accomplir		V							V	V	V		
Inédite						V	V	v	v	V	V	V	v
Non pédagogique						V							

Il faut encore signaler le discours des 7 enseignants restants, qu'il est nécessaire de distinguer en fonction de leurs niveaux de diplomation. Trois de ces enseignants disposant d'un Certificat d'Aptitude Pédagogique (CAP) ou équivalent ont donné des définitions totalement éloignées de celles présentées ci-dessus. C'est également le cas d'un enseignant agrégé qui donne, en guise de définition, un exemple erroné. Un enseignant cite une série d'exemples de compétences issus du 1^{er} degré et deux derniers donnent une explication confuse dont il est difficile d'isoler une définition correcte ou incorrecte.

L'étude a également permis de rendre compte des degrés de certitude et de maîtrise relatifs au concept de compétence. Il en résulte que plus de la moitié des enseignants interrogés fournissent des définitions, des commentaires ou explications emprunts de nombreux signes d'hésitations et d'incertitudes. Etant donné la multiplicité des discours tenus dans chacun des programmes d'études, il semble particulièrement difficile pour les enseignants d'appréhender la notion de compétence et d'en fournir une définition claire et assurée. De plus, l'organisation de l'enseignement s'effectuant par disciplines « *encourage un traitement distinct des compétences par discipline* » (Leter & Vandenberghe, 2003, p.25). Un tel cloisonnement ou découpage disciplinaire ne permet pas d'unifier la vision du concept de compétence et rend encore plus difficile l'exercice de compétences transversales ou interdisciplinaires, malgré les préconisations officielles.

3. Vers une vision globale et structurée du curriculum pour garantir la cohérence des apprentissages ?

Le caractère complexe, voire éclaté, du système d'enseignement et le manque de vision commune concernant les notions de savoir, savoir-faire et compétence placent les chercheurs dans une position délicate lorsqu'ils analysent et évaluent les programmes d'études. L'évaluation de curriculum a pour principaux objectifs de garantir la cohérence des apprentissages, d'une part, et de faciliter le travail des enseignants, d'autre part. Pour y parvenir, les concepteurs doivent veiller à la cohérence des contenus proposés (afin que ceux-ci soient notamment en adéquation avec les parcours scolaires des élèves) et à la cohérence réelle des programmes d'études.

Quel que soit le système, mais plus encore dans un système d'enseignement où les référentiels sont multiples et où la mobilité des élèves renforce les inégalités en termes d'acquisition de compétences (Soetewey, Duroisin & Demeuse, 2011), il s'avère nécessaire de développer une vision claire et uniforme du curriculum. Le développement de cette vision passe tout d'abord par le choix⁵ assumé d'une définition des termes définissant le mode d'entrée dans les programmes (en Belgique, celui de compétences) et d'une utilisation précise de sa signification pour déterminer clairement la nature des énoncés proposés dans les prescrits. En outre, les concepteurs doivent être attentifs à rendre cohérents les contenus des programmes d'études, quels que soit les parcours scolaires, les choix de filières, options et/ou réseaux d'enseignement. Il est important de garder à l'esprit que la non-prise en compte de la diversité des parcours scolaires et le manque de cohérence entre les objectifs fixés par les politiques (notamment la liberté de choix des élèves) et les programmes d'études, définissant tous deux le curriculum prescrit, peuvent précipiter une situation d'échec chez les élèves déjà concernés par les mécanismes de relégation (Beckers, Crinon & Simons, 2012 ; Vitiello, 2008).

⁵ Même si ce choix est difficile compte tenu de l'abondante littérature sur le sujet.

CHAPITRE 2 ETUDE DE LA COHÉRENCE DE
PROGRAMMES D'ÉTUDES AVEC LE
DÉVELOPPEMENT PSYCHO-COGNITIF DES ÉLÈVES :

ANALYSE DE CAS DES PROGRAMMES D'ÉTUDES DE
MATHÉMATIQUES (PARTIES GÉOMÉTRIE)

Chapitre 2 **Etude de la cohérence de programmes d'études avec le développement psycho-cognitif des élèves : analyse de cas des programmes d'études de mathématiques (parties géométrie)**

Largement inspiré d'un article intitulé « *What role for developmental theories in mathematics study programmes in French-speaking Belgium?* » (Duroisin & Demeuse, soumis), le présent chapitre rend compte des résultats d'une étude dont le but est de vérifier la cohérence interne des programmes et le continuum pédagogique proposé en regard à un modèle développemental reconnu : le modèle de la pensée géométrique selon Van Hiele.

Structuré en plusieurs parties, ce chapitre comporte d'abord une introduction qui permet de poser le cadre de l'étude menée. S'en suit une description du modèle de la pensée géométrique proposé par les Van Hiele et une présentation des questions et de la méthodologie utilisée pour la recherche. Les résultats de l'analyse comparative entre le modèle de développement de la pensée géométrique et les programmes d'études de mathématiques de l'enseignement fondamental et du début de l'enseignement secondaire sont ensuite présentés. Un intérêt est également porté à la vérification du continuum pédagogique proposé dans les programmes d'études. Enfin, une discussion en faveur d'une utilisation complémentaire de modèles développementaux clôture le chapitre.

1. Introduction

L'évaluation de programmes d'études peut être réalisée sous plusieurs angles : la forme, la couverture des contenus, la cohérence de leur articulation et de leur progression, la terminologie utilisée, l'orientation pédagogique, la didactique ou

encore la cohérence avec le développement psycho-cognitif des apprenants... (Duroisin, Soetewey & Demeuse, 2013 ; Wholey, Hatry & Newcomer, 2004). En Belgique francophone, la multiplication des programmes d'études née de l'organisation compliquée du système éducatif a conduit l'équipe de recherche à étudier, lors de travaux antérieurs, la cohérence du curriculum, notamment par le biais de l'analyse comparée de programmes (Demeuse, Duroisin & Soetewey, 2012). Ayant déjà démontré dans d'autres articles (i.e. Soetewey, Duroisin & Demeuse, 2011) qu'une part des échecs scolaires (notamment aux enquêtes internationales (i.e. PISA) et aux évaluations externes non-certificatives réalisées en Belgique francophone) peut être due à un ensemble d'incohérences dans le curriculum, on postule ici le fait qu'à l'intérieur même des programmes d'études des incohérences concernant le non-respect de la hiérarchie des aspects développementaux des élèves peuvent être identifiées et être la source d'échecs.

Il est donc ici question de vérifier la cohérence interne des programmes et le continuum pédagogique proposé en regard à un modèle développemental reconnu. Pour cela, sont mises en rapport les connaissances dont on dispose concernant le développement psycho-cognitif des élèves et la façon dont sont abordées les connaissances ayant trait à l'espace dans les programmes d'études. Afin d'investiguer la compréhension qu'ont les élèves de l'espace (et d'identifier les difficultés de ces derniers à appréhender l'espace géométrique ou formalisé au départ de l'espace sensible), il a été choisi de s'intéresser à la géométrie puisqu'il s'agit d'un des aspects de formalisation de la compréhension et de la description de l'espace.

En se concentrant sur un réseau particulier (le réseau officiel), une filière d'enseignement (l'enseignement de transition) et une discipline donnée (les mathématiques), les programmes d'études de l'enseignement primaire (grades 1 à 6) et des trois premières années de l'enseignement secondaire (grades 7 à 9) sont ici analysés. Le modèle de la pensée géométrique des Van Hiele, utilisé comme clé de lecture, permet d'évaluer l'intégration et la cohérence de notions développementales sur cet ensemble *a priori* cohérent de programmes d'études qui traduisent une partie du curriculum de mathématiques.

2. Le modèle du développement de la pensée géométrique selon Van Hiele

Afin de vérifier la cohérence des programmes avec le développement psycho-cognitif des apprenants, il a été nécessaire de sélectionner des modèles développementaux adéquats (Lehalle & Mellier, 2013 ; Thomas & Michel, 1994). Dans la littérature, deux types de modèles peuvent être identifiés. Il s'agit, d'une part, des modèles de développement globaux qui portent notamment sur le développement psycho-cognitif des apprenants et, d'autre part, des modèles spécifiques qui se centrent sur le développement d'un domaine psycho-cognitif particulier. Dans le cadre de cette étude, les modèles de développement globaux choisis ont servi de balises pour comprendre comment s'effectue le passage des connaissances intuitives de l'espace vers un formalisme que propose l'école. Ainsi, ont été considérés les concepts piagétien relatifs à la pensée concrète et à la pensée formelle (Piaget, 1947a) - ou, pour reprendre les termes de Chevallard & Julien (1991), l'espace sensible (espace rendu accessible par les sens) et l'espace géométrique (théorisation de l'espace) - et les concepts de Vygotsky (1986) présentant le modèle de la pensée conceptuelle en trois temps.

Si, comme l'indiquent Houdé & Leroux (2013, p. 155), la « *théorie piagétienne est la seule qui décrive, sinon explique, la genèse des structures normatives de l'intelligence humaine dans une perspective constructiviste qui relie la construction ontogénétique à la genèse scientifique des connaissances logico-mathématiques* », les travaux de Piaget ont été et font encore, aujourd'hui, l'objet de nombreuses critiques (Montangero, 2001). Parmi celles-ci, on peut citer le fait que, par le biais de ses recherches, Piaget accorde un pouvoir excessif à l'action, qu'il s'intéresse exclusivement aux structures logico-mathématiques du « *sujet 'épistémique', trop abstrait, trop général [...] oubliant parfois le sujet 'psychologique réel'* » (Houdé & Leroux, 2013, p. 3), qu'il enferme l'enfant dans un stade donné à un moment donné (modèle de l'escalier) et que ces théories ne prennent pas en considération la psychologie différentielle en n'expliquant pas l'importante variabilité intra et interindividuelle des performances des sujets. Il convient donc d'utiliser les travaux du chercheur suisse en prenant un peu de recul et en intégrant les résultats de la « *nouvelle psychologie de l'enfant* » (Houdé, 2011). De récentes études (Emprin, Douaire & Rajain, 2009 ; Duval, 2005 ; Barth, 2001) ont souligné que le passage de la pensée concrète à la pensée abstraite se réalise difficilement pour bon nombre d'élèves

et qu'il convient d'exercer le passage d'une pensée à l'autre dès l'enseignement primaire. Ainsi, selon Mathé (2008), il est nécessaire de débiter le travail d'abstraction dès le troisième cycle de l'enseignement primaire, pour permettre la mise en place progressive de processus de conceptualisation, en évitant de passer d'un stade à l'autre de manière abrupte, lors d'un changement de niveau scolaire.

Le modèle de la pensée conceptuelle, développé à l'origine par Vygotsky (1986/2012), reprend trois grands stades de développement. Le premier concerne « *la pensée basée sur des groupements non organisés* ». Durant cette période, l'enfant effectue des groupements d'objets sur la base « *d'associations de hasard élaborées à partir de sa perception (groupement par tâtonnement, organisation par champ visuel, tas réformés)* » (Chaoued, 2006, p. 64). À ce stade, l'enfant peut donner un nom au groupement constitué mais il ne parvient pas à regrouper des objets semblables. Le deuxième stade est celui de « *la pensée basée sur des groupements en ensembles complexes* ». A ce moment, l'enfant parvient à se détacher de sa pensée égocentrique pour effectuer des liens entre des objets isolés et concrets. Comme le mentionne Chaoued (2006, p. 64), « *[...] les liens entre les diverses composantes sont "concrets" et "factuels" plutôt qu'abstraits et logiques. La phase ultime de ce stade est la pensée pseudo-conceptuelle, celle-ci "est un passage transitoire entre la pensée par ensembles et la pensée basée sur de vrais concepts"* ». Pour parvenir à ce stade, deux voies de développement de la pensée doivent converger : la synthétisation et la séparation. « *La première fonction impliquée dans la pensée complexe est la répartition par ensembles ou la synthèse de phénomènes qui présentent des aspects communs. La seconde voie, menant à la pensée conceptuelle, suit le processus de séparation ou d'analyse des phénomènes en les dissociant ou en faisant abstraction de certains de leurs éléments* » (Chaoued, 2006, p. 64).

Le modèle de Van Hiele (1959), principalement mobilisé dans le cadre cet article, envisage quant à lui de manière spécifique le domaine de la géométrie. Portant sur le développement de la pensée géométrique des apprenants, ce modèle est centré sur le langage et l'axiomatisation simple pour l'enseignement primaire et pour l'enseignement du début du secondaire. Il est construit de façon hiérarchique et met en évidence cinq niveaux de compréhension des concepts géométriques (Fuys, 1985). La description du modèle de Van Hiele est proposée dans le Tableau 2.1. Le premier niveau, nommé « identification », est atteint lorsque les élèves parviennent à reconnaître des formes à partir de leur apparence globale. À ce niveau, il n'est pas

question pour l'élève d'énoncer les propriétés de la figure donnée. Le deuxième niveau, appelé « analyse », est atteint par l'élève lorsque celui-ci arrive à distinguer et à abstraire quelques propriétés d'une figure géométrique sans pour autant tisser des liens logiques entre elles. Le troisième niveau, nommé « déduction informelle », est atteint lorsque l'apprenant parvient à établir les liens logiques entre plusieurs propriétés d'une ou de plusieurs figures. Lorsque l'élève est capable de comprendre ce qu'est un théorème ou, par exemple, d'élaborer une démonstration, c'est qu'il est parvenu au quatrième niveau, nommé « déduction formelle ». Enfin, le dernier niveau concerne l'enseignement universitaire et renvoie à différents systèmes axiomatiques. Ces différents niveaux trouvent généralement leur correspondance dans le système scolaire (Belkhodja, 2007). Pour Van Hiele, c'est l'enseignement qui doit mettre en évidence les niveaux du modèle.

Tableau 2.1 - Description du modèle de Van Hiele (1959)

Niveau	Niveau d'acquisition (Belkhodja, 2007)	Nom du niveau	Description	
1	Avant l'école	Identification - Visualisation - Perception globale	Reconnaissance de formes, sans énonciation de propriétés	Niveau visuel
2	Durant l'enseignement primaire	Analyse	Distinction et abstraction de quelques propriétés d'une figure géométrique, sans tisser des liens logiques entre elles	Niveau descriptif
3	Durant l'enseignement secondaire (1 ^{er} degré)	Déduction informelle	Établissement de liens logiques entre plusieurs propriétés d'une ou de plusieurs figures	Niveau logique
4	Durant l'enseignement secondaire (2 ^e degré)	Déduction formelle	Élaboration de déductions, de démonstrations simples Compréhension d'un théorème	
5	Enseignement supérieur - universitaire	Rigueur	Comparaison de systèmes axiomatiques Production de théorèmes dans différents systèmes axiomatiques	

Comme l'indique Wirszup (1976), les différents niveaux décrits par Van Hiele sont inhérents au développement des processus de la pensée. Ce même auteur mentionne que le passage d'un niveau à un autre ne constitue pas un processus spontané s'effectuant en même temps que le développement biologique de l'élève et dépendant seulement de son âge. En effet, ce développement s'effectue en fonction des apprentissages réalisés, et donc des contenus enseignés, et des méthodes d'enseignement préconisées. Le passage d'un niveau à un autre n'est donc pas spontané et ne dépend pas de la maturation de l'élève. Il peut, cependant, d'après Van Hiele, être accéléré par un enseignement basé sur cinq phases successives (questionnement/information ; orientation dirigée ; explication ; orientation libre et intégration). (Figure 2.1)

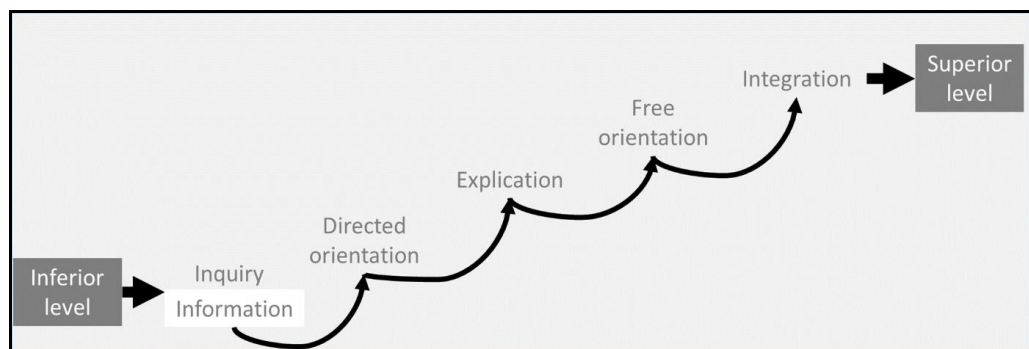


Figure 2.1 - Illustration des cinq phases successives du modèle de Van Hiele (représentation libre à partir de Van Hiele, 1959)

Selon Gutiérrez (1992) et Usiskin (1982), les niveaux décrits par Van Hiele possèdent plusieurs propriétés. Trois d'entre elles sont présentées ci-dessous :

- Les niveaux sont séquentiels et ordonnés (un niveau supérieur ne peut être atteint que si le niveau inférieur est acquis) ;
- Ils sont continus (le passage d'un niveau au suivant s'effectue de façon continue puisque « *l'acquisition d'un niveau de réflexion par l'étudiant est progressive et peut être observée au cours du temps* ») (Trad. libre de Gutiérrez, 1992, pp. 32) ;
- Ils possèdent un langage propre (suivant le niveau dans lequel on se trouve, un sens différent peut être donné à la notion).

Cette dernière propriété est source de nombreux problèmes dans l'enseignement/apprentissage. Étant donné la différence de niveau de formation entre élèves et enseignants, ceux-ci n'utilisent pas le même langage, ni les mêmes axiomes,

et ne traitent donc pas la matière de la même façon. Il est donc nécessaire que l'enseignant adapte son langage aux élèves dont il a la charge. De la même manière, du point de vue des programmes d'études, un intitulé peut être rattaché à un ou plusieurs niveaux du modèle dépendamment de la lecture/compréhension que l'on en fait.

Bien que le modèle proposé par les Van Hiele s'appuie sur les travaux piagétien (Colignatus, 2014), dans le même temps, il s'en distingue. Alors que Van Hiele (1986, p. 5) indique qu' « *une partie importante des origines de [s]on travail peut être trouvée dans les théories de Piaget* », sa théorie s'en écarte pour deux raisons principales. D'une part, dans leurs thèses, les Van Hiele ont testé l'idée, défini et empiriquement développé les niveaux d'abstraction dans la compréhension des mathématiques en défendant un lien indépendant avec l'âge (Colignatus, 2014). En effet, les auteurs ne considéraient pas que les niveaux de compréhension soient liés à un âge donné. D'autre part, ils pensaient que la théorie développementale proposée par Piaget ne prenait pas en considération l'apprentissage et craignaient que les stades de développement (préopératoire et opération concrète) n'étaient pas suffisants pour permettre la compréhension de notions géométriques. Par ailleurs, les Van Hiele ont reconnu le rôle important joué notamment par le langage et, en ce sens, se sont également inspirés de la théorie vygotskienne (Knight, 2006).

Outre le fait que le modèle des Van Hiele ait été conçu en regard des théories développementales globales, d'autres raisons ont guidé le choix de ce modèle. Premièrement, il s'agissait de sélectionner un modèle déjà mis à l'épreuve et/ou validé par plusieurs auteurs (Crowley, 1987 ; Lunkenbein, 1982 ; Usiskin, 1982 ; Marchand, 2009). Deuxièmement, le modèle choisi devait être en accord avec les contenus visés dans les programmes actuels (Yildiz, Aydin & Kogce, 2009). Troisièmement, il devait déterminer avec une certaine précision la progression d'enseignement et illustrer les principales étapes que les élèves doivent franchir pour progresser en géométrie (Marchand, 2009).

3. Questions de recherche et méthodologie

Comme le mentionnent plusieurs auteurs (St-Pierre, Dalpé, Lefebvre & Giroux, 2010), les modèles de développement sont utiles pour élaborer des programmes adaptés au niveau scolaire des apprenants. Pour rappel, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'intégration et la cohérence du modèle de développement de la pensée géométrique, proposé par Van Hiele, dans les programmes d'études de mathématiques (parties « géométrie ») de l'enseignement primaire et des trois premières années de l'enseignement secondaire (enseignement organisé par la Fédération Wallonie-Bruxelles). Deux questions sont en particulier examinées. Elles peuvent être formulées de la manière suivante :

Retrouve-t-on, dans la partie des programmes consacrée à la géométrie, des niveaux de développement de la pensée géométrique tels que ceux proposés par Van Hiele ?

Les compétences sont-elles correctement déclinées en fonction de chacun des niveaux de développement de la pensée géométrique décrits par Van Hiele ?

Pour répondre à ces questions, la recherche a été réalisée en deux temps. Dans un premier temps, une revue de la littérature a été effectuée de manière à identifier le modèle théorique (ainsi que les théories sous-jacentes) pouvant être utilisé pour mettre en rapport le développement de l'appréhension de l'espace chez les élèves et les acquisitions prescrites durant la période qui s'étend du début de l'enseignement fondamental⁶ à la fin de la troisième année de l'enseignement secondaire. Dans un second temps, un travail d'analyse comparative qualitative a été réalisé entre le modèle du développement de la pensée géométrique proposé par les Van Hiele et les apprentissages planifiés dans les programmes de mathématiques. Les notions théoriques, issues des travaux de Piaget et Vygotsky, n'ont été mobilisées que pour préciser certains points critiques des programmes d'études.

Concrètement, chaque programme d'études comporte une série d'intitulés correspondant à un point d'entrée défini en termes de savoir, de savoir-faire ou de compétence. L'analyse a été effectuée sur la base de la structuration des programmes d'études. Un intitulé s'apparente à une phrase qui correspond à une unité de codage. Chacune de ces unités a été associée à un des niveaux du modèle proposé par Van

⁶ Les termes « enseignement fondamental » et « enseignement primaire » seront utilisés sans distinction.

Hiele (le Tableau 2.2 reprend les éléments théoriques qui ont permis de réaliser l'analyse des programmes d'études).

Tableau 2.2 - Eléments théoriques servant à l'analyse des programmes d'études

Éléments théoriques repris de Van Hiele
Modèle de la pensée géométrique en 5 niveaux
- Identification/Visualisation Perception globale
- Analyse
- Dédution informelle
- Dédution formelle
- Rigueur

Le codage a été effectué en deux temps. Tout d'abord, le travail a été réalisé sur un nombre réduit d'intitulés, de façon indépendante, par deux chercheurs. Ces derniers ont ensuite mis en commun leur classement afin de comparer leurs résultats. Après s'être entendus sur une façon commune de procéder, ils ont ensuite effectué le codage de l'ensemble des intitulés des programmes d'études. Suivant la formule classique de calcul de fiabilité inter-codeurs, le taux de concordance est de 94%. Si ce pourcentage n'inclut pas le nombre réduit d'intitulés qui a permis de définir les principes de codage, il inclut cependant une catégorie nommée « intitulés non classables », qui contient les intitulés qui n'ont pu être associés à un niveau précis du modèle (cela est discuté dans le point 5.3).

Il est à noter que pour effectuer ce classement, les chercheurs se sont limités à l'intitulé tel qu'il figure dans le texte original, sans essayer de l'interpréter. Un exemple de classement des intitulés est proposé dans le Tableau 2.3.

Tableau 2.3 - Exemples de classement d'intitulés effectué par rapport au modèle de Van Hiele

Intitulés issus des programmes d'études (niveau d'enseignement en année et/ou en cycle)	Niveau du modèle de Van Hiele
Reconnaitre des polygones réguliers parmi d'autres figures planes. (cycle 2 et cycle 3 primaire)	Niveau 1
Comparer le rectangle et le carré (en termes de côtés et d'angles). (cycle 3 primaire)	Niveau 2
Reconnaitre angle droit, angle aigu, angle obtus, angles complémentaires, angles supplémentaires (1 ^{ère} année secondaire – cycle 1 S)	Niveau 1
Déterminer les positions relatives de sommets, d'arêtes, de faces. (1 ^{ère} année secondaire – cycle 1 S)	Niveau 2
Comparer rayon et diamètre. (2 ^e année secondaire – cycle 1 S)	Niveau 3

4. Prémisses de l'analyse en s'appuyant sur certains aspects des théories piagétienne et vygotskienne

En confrontant une partie du curriculum prescrit au modèle théorique proposé par Piaget concernant la pensée concrète et formelle, on remarque que, globalement, les programmes d'études de l'enseignement primaire et secondaire (cycle 1) prennent en compte le développement cognitif de l'apprenant. Ainsi, le recours à la pensée concrète est principalement observé au primaire, tandis que le recours à la pensée abstraite s'effectue davantage au 2^e degré de l'enseignement secondaire. On remarque également que les activités proposées durant l'enseignement primaire portent, de manière quasi-exclusive, sur la perception, l'observation, la reconnaissance d'objets familiers, de solides, de figures planes, les déplacements d'objets, les associations ainsi que les comparaisons et classements d'objets, de figures planes...

Les contenus issus des programmes d'études pour l'enseignement primaire sont donc en accord avec les théories piagésiennes puisqu'ils favorisent le développement de la pensée concrète. Comme dit précédemment, de récentes études soulignent que le passage de la pensée concrète à la pensée abstraite se réalise difficilement pour bon nombre d'élèves et qu'il convient d'exercer le passage d'une pensée à l'autre dès l'enseignement primaire. Mathé (2008) préconise de débiter le travail d'abstraction progressivement, dès l'enseignement primaire, en évitant de passer d'un stade à l'autre de manière abrupte, lors d'un changement de niveau scolaire. Or, par rapport au modèle de la pensée conceptuelle développé par Vygotsky, c'est précisément au niveau de la progression que le programme prescrit pose problème.

Pour illustrer ces propos, l'exemple ci-dessous est tiré du programme d'études de 3^e année de l'enseignement secondaire et concerne la trigonométrie du triangle rectangle (Figure 2.2).

Trigonométrie du triangle rectangle
Définition du cosinus, du sinus et de la tangente d'un angle aigu. Utilisation de la calculatrice.
Formules fondamentales « $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$, $\tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$ »

Figure 2.2 - Extrait du programme d'études de 3^e année secondaire de mathématiques (partie Géométrie et trigonométrie) (Ministère de la Communauté française, 2000, p. 25)

Contrairement à ce qui est prôné par Vygotsky, aucun élément lié à la progression n'est abordé. Seuls les éléments-clés à enseigner sont identifiés. Le programme d'études ne fait pas mention des liens existants entre la notion théorique présentée et le triangle rectangle qui est seulement mentionné dans le titre, ni même avec le repère

orthonormé. De plus, aucune illustration permettant une meilleure compréhension de la matière à enseigner n'est proposée, même si, selon l'article 5, 15° du Décret missions du 24 juillet 1997 qui cadre tout l'enseignement obligatoire en Belgique francophone, un programme d'étude est « *un référentiel de situations d'apprentissage, de contenus d'apprentissage, obligatoires ou facultatifs, et d'orientations méthodologiques qu'un pouvoir organisateur définit afin d'atteindre les compétences fixées par le gouvernement pour une année, un degré ou un cycle* » (p. 3).

5. Résultats de l'analyse comparative entre le modèle de développement de la pensée géométrique et les programmes d'études

Le modèle de Van Hiele permet d'examiner de manière plus précise le développement de la pensée géométrique au regard des textes normatifs.

5.1 Les cycles d'enseignement correspondent-ils aux niveaux de développement de la pensée géométrique ?

Pour répondre à la question posée, une représentation graphique des résultats en cycles est proposée dans la Figure 2.3. Les trois premiers cycles concernent l'enseignement primaire, le dernier concerne le premier degré de l'enseignement secondaire.

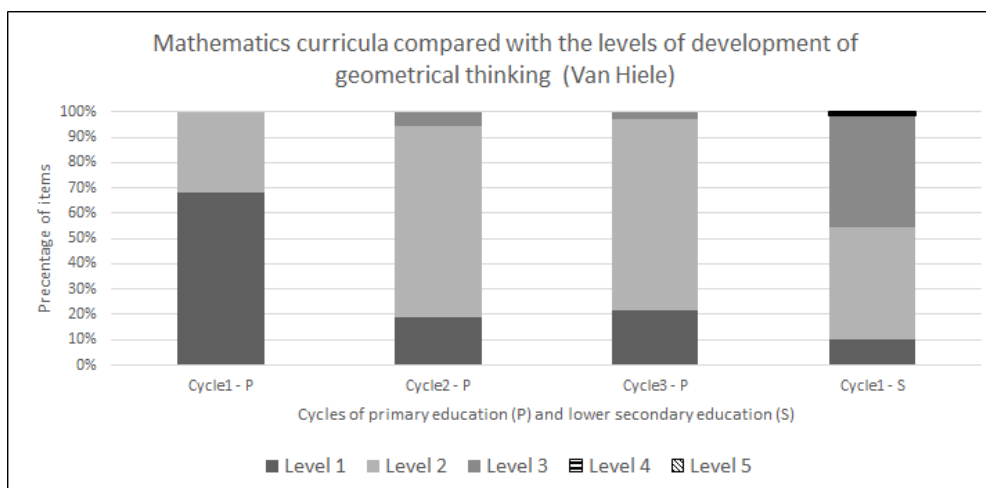


Figure 2.3 - Illustration de la mise en relation des programmes d'études avec les niveaux de Van Hiele

La lecture de la Figure 2.3 met en évidence la très large place laissée au premier niveau du modèle (identification) lors du premier cycle de l'enseignement primaire. Par la suite, le niveau 2 (analyse) est davantage travaillé (cycles 2 et 3 de l'enseignement primaire). Lors du premier cycle de l'enseignement secondaire, les niveaux 2 et 3 (déduction informelle) sont principalement travaillés. Globalement, les cycles d'enseignement sont en cohérence avec les niveaux de développement de la pensée géométrique décrit par Van Hiele.

5.2 Les compétences sont-elles correctement déclinées en fonction de chaque niveau de développement de la pensée géométrique ?

En se basant sur les réflexions de Belkhodja (2007, p.140) qui mentionne que *“lorsqu'on vise le développement des compétences pour réaliser des apprentissages fondamentaux à l'école, il devient nécessaire de leur définir des niveaux de développement”*, il s'agit à présent de se questionner sur l'adéquation des compétences en fonction de chaque niveau de développement de la pensée géométrique. Pour ce faire, deux types de représentations ont été privilégiés.

Dans la partie consacrée à la formation mathématique, les Socles de compétences comptent quatre compétences transversales qu'il convient de développer durant l'enseignement primaire et lors du premier degré de l'enseignement secondaire. Ces quatre compétences sont : analyser et comprendre un message ; résoudre, raisonner et argumenter ; appliquer ; structurer et synthétiser. Comme mentionné précédemment, les intitulés figurants dans les programmes d'études ont tout d'abord été classés dans l'un des niveaux du modèle pour ensuite être regroupés en fonction des quatre compétences transversales susmentionnées.

Sur la Figure 2.4 est illustrée la manière dont sont réparties les compétences (tous programmes confondus) dans les cinq niveaux proposés par Van Hiele.

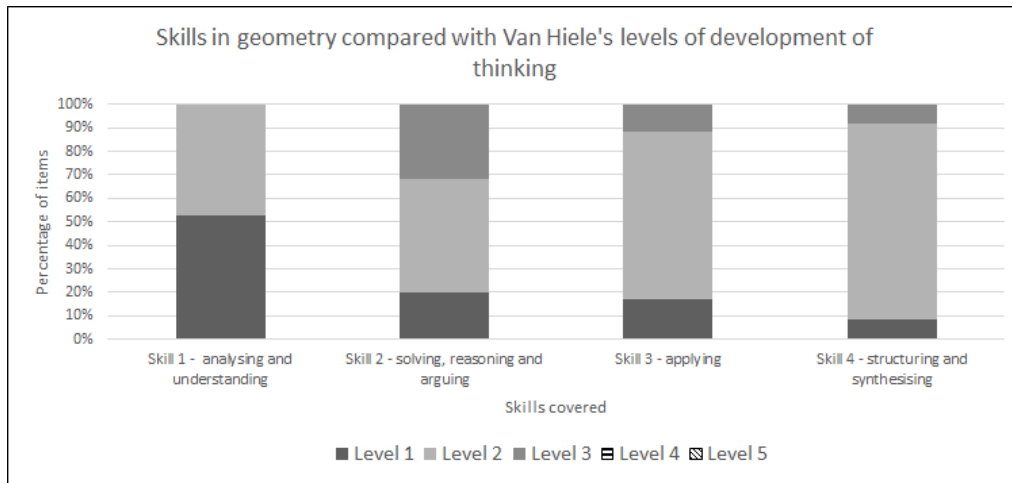


Figure 2.4 - Répartition des compétences dans les cinq niveaux proposés par Van Hiele

Eu égard des résultats obtenus, on remarque une répartition inégale des compétences dans les quatre niveaux du modèle présenté. En effet, la compétence 1 n'apparaît que dans les deux premiers niveaux du modèle et les compétences 2, 3 et 4 sont très peu travaillées dans le premier niveau. Ainsi, on peut par exemple regretter le fait que, pour ces compétences, le recours à des formules plus visuelles (de type tableaux ou graphiques) ne soit pas davantage préconisé dans les programmes d'études.

En s'intéressant à présent aux différences de répartition des compétences en fonction des cycles d'enseignement, d'autres constats peuvent être tirés. Les figures présentées, ci-dessous, décrivent la situation pour chaque compétence transversale. Les cycles d'enseignement (cycles 1P, 2P et 3P pour l'enseignement primaire et cycle 1S pour l'enseignement secondaire) sont détaillés dans chaque figure pour chaque compétence. (Figure 2.5)

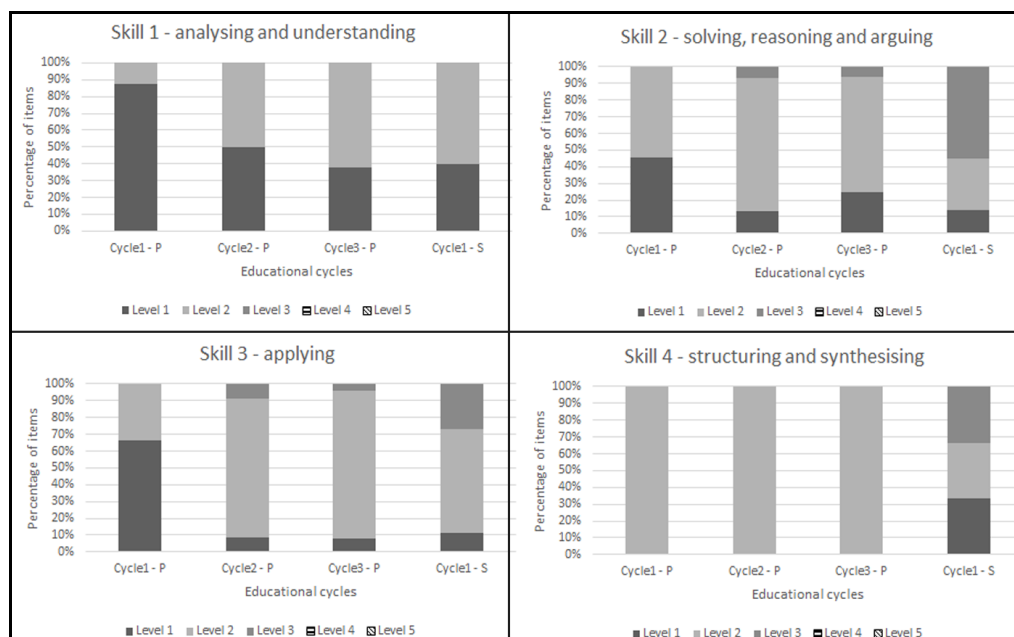


Figure 2.5 - Répartition des compétences dans les cinq niveaux proposés par Van Hiele en fonction des cycles d'enseignement

On remarque qu'en fonction des cycles d'enseignement, les compétences ne sont pas toutes travaillées dans chacun des niveaux du modèle. Ainsi, pour la compétence 1, au premier cycle du primaire, la quasi-totalité des intitulés est rattachée au premier niveau du modèle. Pour les compétences 2 et 3, aux deuxième et troisième cycles de l'enseignement primaire, on constate qu'une large place est faite au deuxième niveau du modèle alors que le premier niveau n'est pas suffisamment travaillé. Pour la compétence 4, les premier et troisième niveaux du modèle ne sont pas travaillés durant l'enseignement primaire.

5.3 Limites de l'approche utilisée étant donné l'imprécision des intitulés des programmes

L'une des limites de l'approche mise en œuvre concerne le manque de précision de certains intitulés. Ainsi, pour exemple, l'intitulé proposé à la Figure 2.6 ne peut pas être classé dans un niveau plutôt que dans un autre. En fonction des choix qui seront réalisés par l'enseignant lorsqu'il dispensera ses cours (choix qui sont très peu contraints par des intitulés peu précis), il sera sans doute possible d'observer la mobilisation de compétences de niveaux très différents.

« Configurations de Thalès – Rapports et proportions
Problème de construction et de calcul, recherche et démonstration de propriétés.
On traitera au moins les problèmes suivants ;
- (...),
- **Section d'un prisme, d'une pyramide par un plan parallèle à une face.** »

Figure 2.6 - Extrait du programme d'études de mathématiques de 3^e année de l'enseignement secondaire (Ministère de la Communauté française, 2000, p. 22)

L'extrait du programme d'études de 3^e année de l'enseignement secondaire permet d'illustrer les difficultés auxquelles le chercheur est confronté lorsqu'il effectue le classement des intitulés dans un des niveaux du modèle de Van Hiele. En effet, après la lecture de l'intitulé présenté en gras, on peut se demander comment l'enseignant doit le comprendre. Est-il question de favoriser l'abstraction ou, au contraire, de se baser sur des éléments concrets permettant de mieux appréhender la notion ? Cet exercice est-il réalisé sur un solide en 3D ou sur un solide représenté sur une feuille de papier ? En d'autres termes, l'enseignant doit-il faire visualiser la section d'un prisme à ses élèves ou doit-il faire effectuer la section d'un prisme ? Les élèves doivent-ils effectuer le calcul de la surface de la section, comme indiqué dans le début de l'énoncé ? Est-il donc question de travailler le théorème de Thalès en regard au paradigme géométrique ou algébrique ?

5.4 Mise en avant des limites du modèle de Van Hiele en regard aux programmes d'études analysés

Si le modèle de Van Hiele a permis d'analyser les programmes d'études et de dégager des points importants pour mener une réflexion de fond concernant la prise en considération du développement de la pensée géométrique chez l'élève, il a toutefois montré ses limites. La première est qu'il est parfois difficile de classer dans un des niveaux donnés les intitulés relatifs aux actions que les élèves doivent accomplir. C'est le cas pour des actions telles que construire, mesurer... Pour classer les intitulés d'actions, il peut être intéressant de se reporter aux travaux de Duval (2005). La seconde est que le modèle ne prend pas en compte les contenus géométriques se rapprochant du paradigme algébrique. Or, comme le soulignent Duroisin (2013) et Duroisin, Soetewey & Canzittu (2013), les parties dédiées à la « géométrie » dans les programmes d'études de mathématiques (enseignement officiel) s'inscrivent parfois dans un paradigme algébrique.

6. Utiliser des théories développementales pour vérifier le continuum pédagogique proposé dans les programmes d'études

Le chapitre III du Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre (Communauté française de Belgique, 1997) a pour titre : « *Des objectifs particuliers communs à l'enseignement fondamental et au 1er degré de l'enseignement secondaire* ». Dans sa première section, article 13, il est noté que « *Dans l'enseignement ordinaire, la formation de l'enseignement maternel et des huit premières années de la scolarité obligatoire constitue un continuum pédagogique structuré en trois étapes, visant à assurer à tous les élèves, les socles de compétences nécessaires à leur insertion sociale et à la poursuite de leurs études* » (p. 6). Par continuum pédagogique, il faut donc entendre que la continuité des apprentissages est pensée et favorisée de la maternelle à la fin du premier degré de l'enseignement secondaire. Si les documents qui servent à fournir des cadres légaux (décrets, contrat pour l'Ecole...) préconisent ce continuum pédagogique, force est de constater que, dans les programmes d'études, la continuité des apprentissages entre l'enseignement primaire et secondaire n'est pas forcément pensée de façon adéquate. La prise en considération des modèles de développement a permis de mettre à jour des incohérences dans la progression entre les contenus devant être dispensés durant l'enseignement primaire et l'enseignement secondaire. Quelques-unes des incohérences relevées dans les parties « solides et formes » (pour l'enseignement primaire), ou « géométrie » (pour l'enseignement secondaire) des programmes d'études sont reprises dans les tableaux suivants (Tableau 2.4 et Tableau 2.5).

Tableau 2.4 – Exemples d'incohérences issus des programmes d'études (primaire et 1ère année secondaire)

Enseignement. primaire, 8 à 10 ans	Enseignement. primaire, 10 à 12 ans	Enseignement. secondaire, 1 ^{ère} année
« Tracer des développements de solides (cube, parallélépipède rectangle) sur papier quadrillé ou non »	« Tracer des développements de solides (cube, parallélépipède rectangle) sur papier quadrillé ou non »	« Reconnaitre un développement d'un cube, d'un parallélépipède rectangle, d'un prisme droit »

Tableau 2.5 – Exemples d'incohérences issus des programmes d'études (enseignement primaire et 2e année secondaire)

Enseignement primaire, 8 à 10 ans	Enseignement primaire, 10 à 12 ans	Enseignement secondaire, 2^e année, 13 ans
« Utiliser la translation, la rotation, la symétrie dans des activités concrètes d'expression ; éducation physique, peinture... »	« Déplacer des figures planes et distinguer la translation, la rotation, la symétrie orthogonale, la symétrie centrale » « Comparer et classer des figures planes en prenant comme critères : le nombre de côtés et d'angles ; les relations entre les côtés ; les relations entre les angles ; la présence d'axes de symétrie »	« Découvrir dans une figure un axe de symétrie » « Découvrir des symétries et des rotations dans des polygones réguliers ».

La lecture de ces tableaux permet de remarquer que si la progression des contenus proposés dans l'enseignement primaire est globalement correcte, il n'en est pas de même pour la transition primaire/secondaire. En effet, il semble que les contenus des programmes de l'enseignement secondaire font abstraction des acquis réalisés lors des années antérieures.

7. Discussions et conclusions, pour une complémentarité des modèles de développement

La prise en considération de modèles de développement permet d'effectuer un travail important sur les programmes d'études, aussi bien lors de leur conception que de leur évaluation. C'est dans la seconde perspective que s'est inscrite l'étude menée.

Globalement, les programmes d'études qui ont été examinés se basent sur des théories développementales relativement anciennes et peu spécifiques en privilégiant de manière quasi-exclusive, durant l'enseignement primaire, le travail sur des objets concrets. Or, de récentes recherches mettent en évidence l'intérêt de débiter le processus d'abstraction dès le troisième cycle de l'enseignement primaire. Pour les futurs programmes d'études, il paraît utile de penser, *a priori*, lors de la rédaction, à intégrer les apports de ces nouvelles recherches (Duval, 2005 ; Mathé, 2008 ; Perrin-Glorian, Mathé & Leclercq, 2013).

Concernant l'intégration du modèle spécifique développé par Van Hiele, il convient d'être plus nuancé. Globalement, les cycles d'enseignement coïncident avec les niveaux de développement de la pensée géométrique. Toutefois, l'accent n'est pas suffisamment mis sur les stades intermédiaires qui devraient permettre aux élèves d'atteindre plus facilement les compétences ciblées dans la suite du cursus.

La prise en considération des théories développementales a également permis de remettre en question la progression des apprentissages lors du passage primaire/secondaire. Si bon nombre de documents cadres (décrets, Contrat pour l'école...) et de nombreuses recherches cherchent à solutionner les difficultés rencontrées lors de la transition primaire/secondaire, il semble aussi nécessaire de réécrire les programmes en étant attentif aux acquis antérieurs.

En outre, cette étude a permis de rendre compte des difficultés de classement, dans un niveau donné, d'un certain nombre d'intitulés, fort imprécis et permettant de nombreuses opérationnalisations différentes. Si cette difficulté de classement remet en question la reproductibilité de cette étude et globalement les résultats obtenus, elle conduit surtout à se questionner sur les difficultés que peuvent éprouver les enseignants lorsque ceux-ci doivent préparer leur cours et enseigner les contenus prescrits. En effet, le manque de précision dans la rédaction des items et/ou le manque d'illustrations peut rendre la tâche de l'enseignant ardue et la dérive curriculaire, en fonction du niveau des élèves, fort importante. Cette difficulté est d'ailleurs encore plus importante pour les enseignants du secondaire étant donné que ces derniers ne sont pas forcément formés pour enseigner les matières dont ils ont la charge (ce qui pose également la question de la formation enseignante). Étant donné les contraintes auxquelles les enseignants doivent faire face, une des solutions est de retravailler les programmes d'études en prenant en considération la transition primaire/secondaire, en évitant les redites, en respectant la progression des apprentissages et en s'inspirant des récentes recherches menées en psychologie du développement.

Enfin, il est à noter que, pour cette étude, seuls les programmes d'études rédigés par le réseau officiel ont été étudiés. Un travail similaire pourrait être mené sur les documents proposés par les autres réseaux d'enseignement afin de vérifier la cohérence interne des programmes d'études.

CHAPITRE 3 QUELLE PLACE POUR L'ESPACE À L'ÉCOLE ?

Chapitre 3 **Quelle place pour l'espace à l'école ?**

Faisant suite aux deux premiers chapitres de cette thèse qui ont, d'une part, décrit le système éducatif belge francophone au travers de son curriculum et, d'autre part, présenté une partie de ce curriculum en portant une attention particulière à la cohérence interne de certains programmes d'études, ce troisième chapitre est consacré à la notion d'espace. Après s'être interrogé sur les significations accordées à ce terme, la présentation des « espaces » existants est alors effectuée. S'en suit une description des facteurs, des composantes et des habiletés rattachés au concept de cognition spatiale. Le chapitre se clôture par une présentation des intitulés issus des programmes d'études eu égard des habiletés spatiales précédemment détaillées.

1. Qu'est-ce que l'espace ?

L'espace est une notion complexe.

Piaget & Inhelder (1948), dans l'avant-propos de leur ouvrage intitulé « *La représentation de l'espace chez l'enfant* », vont même jusqu'à indiquer que « *le problème de l'espace est d'une complexité extrême* » (p. 6).

Provenant du latin « spatium », le terme « espace » recouvre plusieurs acceptions étant donné la pluralité de ses propriétés et son utilisation dans divers champs disciplinaires. Il peut ainsi être indéfini, limité, superficiel, localisé, imaginé, temporel, simulé, virtuel... et associé à différentes disciplines (philosophie, mathématiques, histoire, géographie, arts...). Dervillez-Bastuji (1982, p.196-197), en tant que linguiste, évoque la polysémie du lexème « espace » et indique que ce dernier peut se décliner de trois manières. Premièrement, il s'agirait d'un « *volume ou d'une surface susceptible d'être perçu, occupé ou parcouru* ». Pour l'auteur, les trois actions correspondantes aux trois classes de « *procès-états élémentaires relatifs aux lieux* » sont le regard, la localisation et le déplacement. Deuxièmement, il s'apparenterait à « *un intervalle entre deux objets* ». Ici, il serait donc question d'un espace entre deux carrés représentés sur une

feuille, d'un espace entre deux arbres plantés dans le jardin... Troisièmement, l'espace définirait un « intervalle de temps » (cf. en musique). En fonction de leurs domaines d'expertise, de nombreux scientifiques se sont attachés à définir la notion d'espace. Sans prétendre à l'exhaustivité, le but de cette section est de présenter quelques-unes de ces définitions afin de rendre compte du caractère hétérogène et disparate de ce terme.

Les philosophes ont, pour la plupart, tenté de définir l'espace en mettant en avant certaines de ses caractéristiques. Ainsi, l'espace platonicien est un « *contenant universel, étendue existant en soi, hors des objets qui y sont contenus, espace abstrait, vide, illimité et isotrope* » (c'est-à-dire ayant les mêmes propriétés en tous points) (Pêcheux, 1990, p.20). En se différenciant d'une partie de la pensée de Platon, Newton indique que « *l'espace absolu, sans relation aux choses externes, demeure toujours similaire et immobile* » (Newton, 1687, cité par Huriot, Perreur, 2002, p.2). Pour lui, l'espace peut soit être complètement vide ou occupé par la matière sans qu'il n'y ait altération de ses propriétés. Ne partageant pas la théorie de l'espace vide, présentée par Platon, et absolu sans aucune relation, proposée par Newton, Leibniz envisage le caractère relatif de l'espace puisqu'il le définit comme « *l'ensemble des relations entre objets, chacun d'eux pouvant servir de point de référence pour situer les autres* » (Pêcheux, 1990, p.20). Tout comme Leibniz, Berkeley critique la vision de Newton concernant l'espace absolu et insiste sur la perception et sur le fait qu'il est impossible d'envisager l'espace sans tenir compte des corps qu'il contient :

« *Je vois cette cerise, je la touche, je la goûte ; je suis sûr qu'un rien ne saurait être vu, ni touché, ni goûté ; la cerise est donc réelle. Enlevez les sensations de mollesse, d'humidité, de rougeur, d'acidité, et vous ôtez la cerise, puisqu'elle n'est en rien distincte de ces sensations. La cerise, vous dis-je, n'est rien qu'un monceau d'impressions sensibles ou d'idées perçues par les différents sens ; lesquelles idées sont unies en une seule chose (ou reçoivent un seul nom) par l'esprit ; parce qu'elles se montrent à l'observation s'accompagnant les unes les autres* » (Berkeley, 1998, p. 212).

Lalande (1956, p. 298, in Dervillez-Bastuji, 1982) définit l'espace comme « *un milieu idéal, caractérisé par l'extériorité de ses parties, dans lequel sont localisées nos perceptions et qui contient par conséquent toutes les étendues finies* ». Dans la même optique, le T. L. F. (1980, t. 8, p. 127, a, cité par Hadermann, 1993) décrit l'espace

comme étant « *le milieu idéal, indéfini dans lequel se situe l'ensemble de nos perceptions et qui contient tous les objets existants ou concevables* ».

Soulignant également la notion de perception, Kant, repris par De Wilde D'Estmael & Dubois (2007, p. 300), définit l'espace comme un « *système de lois réglant la juxtaposition des choses relativement aux figures, grandeurs et distances et permettant la perception* ». La pensée kantienne inclut la notion de représentation en mentionnant que l'espace est « *une représentation nécessaire a priori qui sert de fondement à toutes les institutions extérieures* » (Dupouy, 2006, p. 57-58). On peut ainsi se représenter les objets comme étant dans l'espace, c'est-à-dire localisés les uns par rapport aux autres et par rapport à soi-même, dans le but d'appréhender le monde. Des années plus tard, Piaget se rapproche sensiblement de la pensée kantienne en deux points. D'une part, il explique que l'espace c'est « *percevoir les relations des choses entre elles, son propre déplacement par rapport aux choses* ». Il détaillera d'ailleurs, à ce propos, et ce à de multiples reprises, dès 1923, la notion d'« *égocentrisme* » (Beaudichon & Bideaud, 1979). D'autre part, il revient sur la notion de représentation qui permet, selon lui, d'accéder à une plus grande maîtrise de l'espace. Piaget distingue ces deux notions en précisant que la perception et la représentation reposent sur des mécanismes différents. En effet, la perception exige un contact sensoriel direct avec des objets présents alors que la représentation renvoie à l'évocation de contenus identiques en leur absence. Piaget, tout comme Wallon, conçoit l'espace comme une construction progressive (approche psychogénétique). Ainsi, en tant que psychologue, Wallon (1968, p. 21) indique que « *l'espace n'est pas une donnée en soi* » et qu'il s'agit d'une acquisition, d'une construction réalisée par l'enfant dès son plus jeune âge. Les deux auteurs insistent également sur le rôle de l'activité du sujet et sur celui de la vision. Ils indiquent que l'espace dans lequel nous vivons reste essentiellement visuel et que « *la vue est une fonction très polyvalente [et] aussi le sens le plus précis* » (Wallon, 1968, p. 21).

2. Un espace, des espaces

Comme le mentionne Bideaud (1999), une dizaine de théories présentant des descriptions plus ou moins hétérogènes du développement sont disponibles dans la littérature (Lurçat, Wallon...). Alors que les observations réalisées par Piaget sur les compétences perceptives du nourrisson ont été sujettes à de vives critiques et remises en cause à de multiples reprises (Lécuyer, 1989), ses découvertes sur la représentation

de l'espace chez l'enfant (Piaget & Inhelder, 1948) ont globalement été validées par la communauté scientifique (Laurendeau & Pinard, 1962, 1968). Elles sont d'ailleurs présentées dans la plupart des ouvrages de psychologie.

Une brève revue de la littérature portant sur la manière dont se structure l'espace chez l'enfant en regard des stades du développement cognitif est ici proposée. Le point 2.1 est donc consacré à une description des types d'espaces en référence aux différents stades de développement de la pensée piagétienne. Parallèlement à cela, les caractéristiques des espaces concret et abstrait sont présentées puisque ces derniers servent d'appui pour définir l'évolution de la pensée chez l'enfant. Le point 2.2 porte sur les rapports topologiques élémentaires, l'espace projectif et l'espace euclidien. Dans le point 2.3 sont présentées l'acquisition progressive et les relations qu'entretiennent deux concepts-clés : l'égocentrisme (point de vue égocentrique) et la décentration (changement de perspectives).

2.1 De l'espace subi à l'espace représenté, évolution de la structuration de l'espace en référence aux stades du développement piagédiens

Quand on décrit l'évolution de la structuration de l'espace chez l'enfant, la tendance est forte de vouloir associer à chacun des types d'espaces un âge donné afin d'estimer son temps d'acquisition. Sans pour autant fixer définitivement une acquisition à un âge donné, de tels repères temporels servent à savoir si l'enfant est apte ou non, à un moment donné, de réaliser un certain nombre d'activités, qu'elles soient ou non scolaires. (Figure 3.1)

Du début de sa vie jusqu'aux environs de son troisième mois, que ce soit à bras ou en poussette, le bébé subit les déplacements que son entourage lui impose. À condition qu'il soit mis en contact avec un environnement, ses espaces visuel, olfactif, auditif et tactile lui permettent de prendre connaissance des éléments les plus proches, qu'ils soient constitués de paysages et/ou de personnes. Suite à l'*espace subi*, l'*espace vécu* ou parfois appelé sensori-moteur, correspondant au stade sensori-moteur du développement de la pensée de l'enfant, est caractérisé par la mise en place et le développement des sens et de l'action, du mouvement. En se déplaçant et en manipulant les objets de l'espace, l'enfant est capable de vivre physiquement l'espace mais ne parvient pas encore à l'analyser. L'intelligence sensori-motrice ne dépasse pas

l'action ; il s'agit d'une intelligence sans pensée et sans représentation. L'enfant ne pense pas en dehors de ce qu'il fait sur le moment. De l'âge de 2 ans vers l'âge de 7 à 8 ans, l'enfant passe de l'espace vécu à l'*espace perçu*, correspondant au stade préopératoire. C'est à partir des expériences vécues que l'enfant parvient à percevoir l'espace sans que son corps n'ait besoin de l'expérimenter simultanément. Ainsi, si l'action demeure l'outil principal du développement de ses connaissances, dorénavant, l'enfant est capable d'évoquer mentalement des objets ou des événements (appelés signifiés) absents au moyen de signifiants prenant la forme de signes ou de symboles (codifiés, arbitraires, conventionnels). Le passage de l'action effective à l'action intériorisée s'effectue par ce que Piaget nomme l'« *émergence de la fonction sémiotique ou symbolique* ». Durant ce stade, la pensée de l'enfant reste cependant prisonnière des données perceptibles. Les erreurs de raisonnement des enfants confrontés aux expérimentations de conservation des liquides, des poids ou encore des volumes permettent d'illustrer le fait que l'enfant est encore dépendant des apparences et de ses perceptions. Développée au cours du même stade de développement, la vision du monde se réalise par rapport à l'enfant lui-même ; on parle alors d'égoïsme. À ce moment, l'enfant s'avère incapable d'adopter un autre point de vue que le sien. C'est également à ce moment que l'enfant prend connaissance et établit des rapports d'ordre topologique avec les objets issus de son environnement. Plusieurs rapports spatiaux sont alors acquis : il s'agit des rapports de voisinage, de séparation, d'ordre ou de succession spatiale, d'entourage ou d'enveloppement et de continuité. Le rapport spatial qui correspond à la plus simple des conditions de toute structuration perceptive est celui de voisinage. Il concerne la proximité des éléments perçus (proche de, éloigné de, contre...) dans un même champ. Le rapport spatial de séparation équivaut à dissocier deux éléments voisins ou, comme le mentionnent Piaget & Inhelder (1972, p. 16), « *du moins à fournir un moyen de les distinguer* ». Un exemple de cette séparation serait d'effectuer un classement d'objets en fonction de critères. Le rapport spatial d'ordre s'établit lorsque les éléments voisins (rapports de voisinage) et séparés (rapport de séparation) se distribuent les uns à la suite des autres. La perception (visuelle ou autre) guide des suites de mouvements, d'événements et d'éléments apparaissant de façon constante et hiérarchisée (X est avant Y, Z est derrière Y). Le rapport spatial d'entourage ou d'enveloppement correspond au fait qu'un élément donné soit placé au « centre » d'autres éléments ou « entre » deux éléments. Dans un espace tridimensionnel, le rapport d'entourage est amené à se transformer en des rapports d'intériorité (« dedans », par exemple). Le rapport spatial de continuité est,

quant à lui, présent dès le départ de toute perception et concerne le caractère continu des lignes, des formes et des surfaces données (formes ouvertes ou fermées).

Piaget & Inhelder (1972) soulignent le fait que les rapports spatiaux évoluent entre eux (en fonction des changements opératoires dans les autres rapports spatiaux) mais également en fonction de l'âge de l'enfant. Ainsi, quand l'enfant grandit, on remarque, par exemple, que d'autres facteurs d'organisation (tel que la ressemblance) priment sur la fonction de proximité et que cette dernière ne se limite plus forcément à un environnement restreint. Dépendant du type de perception (analytique ou synchrétique) développé par l'enfant, le rapport de séparation évolue lui aussi.

Vers 7 ans, l'enfant parvient donc à percevoir l'espace sans s'y mouvoir. Progressivement, à l'action succède la représentation. L'espace *représenté*, aussi appelé l'espace connu (De Lièvre & Staes, 2006, p.62), correspond au stade des opérations concrètes qui a lieu de l'âge de 7-8 ans jusqu'à l'âge de 11-12 ans. Dès 7 ans, les comportements observables, à savoir les actions, sont remplacés par des types d'actions particulières, à savoir des opérations. Même si l'enfant est capable de réaliser des actions mentalement, sa pensée n'est pas complètement indépendante des objets perceptibles. Ainsi, comme l'indiquent Clément & Demont (2013, p. 80), « *les premières opérations sont toujours liées à l'action et portent directement sur des objets concrets présents ou immédiatement représentés* ». Lubart (2006) distingue les opérations de conservation, des opérations logico-mathématiques ainsi que des opérations infra-logiques. Dès l'âge de 11 à 12 ans, la pensée est décrite comme étant formelle puisque l'enfant accède au raisonnement. Si la spécificité des opérations concrètes résidait dans le fait de porter directement sur les objets avec un raisonnement indissociable de son contenu, les opérations formelles vont, quant à elles, libérer le raisonnement de son contenu. À partir de ce moment, l'enfant peut raisonner sur de simples hypothèses et non plus exclusivement sur un matériel concret. Puisque l'enfant parvient à raisonner sur la base d'hypothèses, cette pensée formelle est hypothético-déductive. Très concrètement, l'enfant devient donc capable de raisonner de façon abstraite, sans recourir à des expériences concrètes. Il est aussi capable de formuler des hypothèses et de les combiner entre elles en utilisant des opérations propositionnelles (relatives, par exemple, à l'implication « si... alors » ou l'incompatibilité « ou... ou ; ni l'un, ni l'autre »...). L'enfant se familiarise alors progressivement à la méthode expérimentale qui requiert, d'une part, le contrôle d'hypothèses (l'enfant fait varier un à un et systématiquement les facteurs en jeu) et,

d'autre part, la mise en évidence de conclusions qui permettra, pour la suite, la définition de nouvelles hypothèses. Parvenant progressivement à considérer le réel comme un cas particulier et à envisager une série de cas possibles, l'enfant prend conscience de la réversibilité des rapports existants entre le réel et le possible. Si, lors du stade antérieur, le possible était considéré comme le prolongement du réel ; à présent, lors du stade des opérations formelles, le réel est considéré comme une réalisation parmi d'autres possibles.

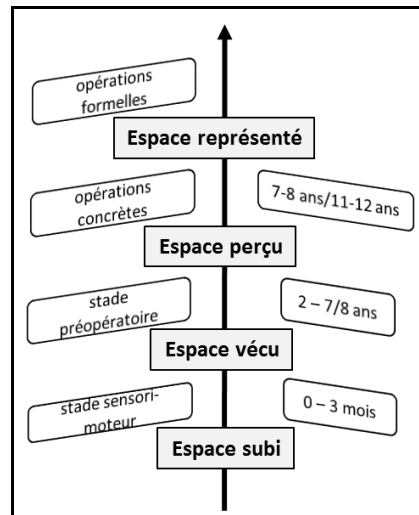


Figure 3.1 - Évolution de la structuration de l'espace en référence aux stades du développement piagétien

Si la construction de l'espace chez l'enfant se réalise, comme cela vient d'être présenté, en passant par la succession des espaces qui vient d'être décrite, il est également intéressant de remarquer qu'un « retour » voire une « multitude de retours » à ces espaces est, dépendamment des contextes, possible, quel que soit l'âge de l'individu. Ainsi, l'espace subi fait très souvent l'objet d'une appropriation de la part de l'individu, quel que soit son âge. Un trajet en tant que passager dans une voiture ou en train par temps de brouillard peut procurer une sensation visuelle identique que celle que le bébé vit durant les trois premiers mois de sa vie. Une personne âgée, privée de ses moyens locomoteurs, est également sujette à subir l'espace dans lequel on la déplace.

2.2 De l'espace perceptif à l'espace euclidien

Les structures perceptives ou sensori-motrices sont le point de départ et constituent les bases permettant la construction représentative de l'espace. La perception de l'espace se construit donc progressivement au cours des trois périodes du développement sensori-moteur et n'est pas, comme le signalent Piaget & Inhelder (1972, p. 15), « *donnée toute faite dès les débuts de l'évolution mentale* » (Figure 3.2).

La première période est caractérisée par la non-coordination des différents espaces sensoriels. Étant donné que les espaces visuel et tactilo-kinesthésique ne sont pas encore reliés entre eux, il n'existe pas encore de constance perceptive (qu'elle porte sur des formes ou des grandeurs), ni de permanence de l'objet (Poulin-Dubois, 2007). À ce moment, la perception est d'ordre primitive et les rapports spatiaux sont considérés comme élémentaires (les rapports spatiaux ont été décrits dans le point 2.1).

Caractérisée par la coordination de l'espace visuel (élaboration de schémas de manipulation contrôlés par la vision) et des activités tactilo-kinesthésiques entre elles, la deuxième période transforme progressivement mais profondément l'espace perceptif défini lors de la période précédente. Si, au début de cette deuxième période, l'espace semble « *ne comporter que des rapports pré-perspectifs et pré-euclidiens, qui s'apparentent aux relations topologiques élémentaires* », il ne s'agit que d'une « *topologie perceptive et motrice et surtout radicalement égocentrique en ce sens que les rapports perçus ne se dissocient pas de l'activité du sujet* » (Piaget & Inhelder, 1948, p. 22). Par exemple, à ce moment précis, les enfants ne parviennent pas à distinguer si ce sont des raisons externes (comme des mouvements objectifs) ou des raisons internes, propres au sujet (comme la position du sujet), qui déterminent qu'une forme donnée se transforme. La suite de la deuxième période aboutit, quant à elle, à la constitution des rapports projectifs et métriques étant donné que la coordination des activités tactilo-kinesthésiques du sujet permet une décentration progressive de l'espace sensori-moteur. Le fait, qu'à présent, l'enfant manipule des objets qu'il voit le conduit à les analyser, à prendre conscience de leur consistance et à envisager de manière progressive leur permanence. Ainsi, à ce stade, l'acquisition des rapports projectifs permet de coordonner entre elles les projections de nature perspective, c'est la consistance de la forme. L'objet ne se déforme pas, c'est la perspective qui change. L'acquisition de rapports métriques se fait par le biais de la manipulation et des déplacements effectués. C'est elle qui permet d'estimer les dimensions, les distances et

leurs similitudes. Outre le fait que les acquisitions réalisées lors de la deuxième période concernent essentiellement la forme et les dimensions des objets, on remarque, par ailleurs, que les actions sensori-motrices sont fondamentales pour une élaboration spatiale des rapports projectifs et euclidiens.

Lors de la troisième période, l'accent est mis sur les rapports qu'entretiennent, entre eux, les objets de l'espace. Sachant manipuler et étant capable de coordonner l'espace visuel à ses actions, l'enfant peut alors, d'une part, orienter ses conduites de recherche et expérimenter (en tâtonnant) son espace et, d'autre part, intérioriser des coordinations de rapports spatiaux (élaboration progressive d'image mentale), ce qui laisse entrevoir les premières esquisses des représentations de l'espace (rapprochement avec la fonction symbolique).

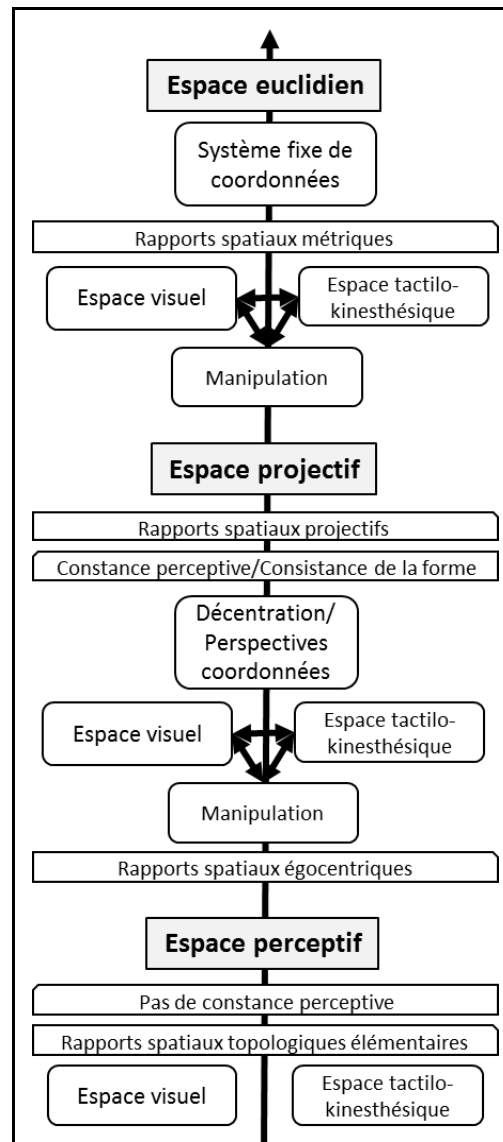


Figure 3.2 - Evolution de l'espace perceptif à l'espace euclidien

Alors que l'espace topologique initial est défini par Piaget & Inhelder (1972, p. 179) comme « *intérieur à chaque figure, dont il exprime les propriétés intrinsèques [...]* », il n'a « *encore rien d'un espace total qui engloberait toutes les figures, et la seule mise en relation d'une figure à l'autre que connaissent les opérations topologiques fondamentales est la correspondance bi-univoque et bi-continue, source des « homéomorphies » ou analogies de structure entre les figures* », c'est-à-dire à nouveau d'une analyse se plaçant au point de vue de chaque objet figural considéré en lui-même et non pas d'un système qui organiserait l'ensemble en un tout structuré selon une même coordination spatiale. Les problèmes que posent les espaces projectif et métrique sont plus complexes et d'un tout autre ordre puisqu'ils concernent la localisation des objets et leurs configurations (c'est-à-dire, leur localisation les uns par rapport aux autres). Pour reprendre les termes de Piaget & Inhelder (1972, p. 179), les deux espaces conduisent à la construction de « *systèmes d'ensemble réunissant une multiplicité de figures en fonction soit d'un jeu de perspectives soit d'axes de coordonnées* ». Etant donné que l'espace devient simultanément projectif et euclidien (Piaget & Inhelder, 1972), la construction de ces espaces chez les enfants s'entrecroise à de multiples reprises. C'est la coordination entre objets spatiaux distincts relatifs à des points de vue donnés qui caractérise l'espace projectif alors que c'est la coordination d'objets entre eux en fonction d'axes de coordonnées qui définit l'espace euclidien. L'enfant accède à l'espace projectif dès qu'il cesse d'envisager simplement un objet pour lui-même et qu'il le considère relativement à un point de vue donné. Si ce point de vue est celui de l'enfant, on parle de « relation de perspective » ; si le point de vue provient d'autres objets, on parle de « projection ». L'enfant accède à l'espace euclidien quand il a conscience que tout objet est relié aux autres selon les trois ordres de rapport acquis par l'action dans un monde tridimensionnel : devant/derrière, en haut/en bas, à gauche/à droite (Paoletti, 2003). L'espace euclidien, dans sa forme ultime, est structuré par les systèmes fixes de coordonnées et est, à ce titre, le garant de la maîtrise, par les enfants ayant atteint un niveau de développement suffisant, des déplacements d'un objet dans l'espace. L'enfant est ainsi capable d'utiliser des rapports métriques (Fischer, 2011).

2.3 L'égocentrisme et la décentration

Notamment axé sur les théories piagésiennes, ce point détaille deux concepts-clés concernant l'appréhension et la compréhension de l'espace : l'égocentrisme et, son « opposé » (Beaudichon & Bideaud, 1979, p. 617), la décentration. Si les notions d'égocentrisme et de décentration sont ici principalement envisagées en investiguant les relations spatiales établies entre le corps de l'individu et son milieu externe, les aspects sociaux et/ou de communication (relatifs au langage, par exemple) sont également importants et fournissent d'autres significations (on parle alors, par exemple, de langage égocentrique ou de décentration sociale).

D'après Legendre-Bergeron (1980), l'égocentrisme est caractérisé par le fait que l'enfant ne parvient pas à dissocier son corps et l'environnement extérieur. Cette indifférenciation entre le corps de l'enfant et l'objet extérieur est liée, d'une part, à la non prise en compte des réciprocity des points de vue et de la réalité objective et, d'autre part, à un phénomène de centration sur le « soi ». Ainsi, comme l'indique Piaget (1923, p. 181), « *Penser de manière égocentrique signifie [...] que l'on ne s'adapte pas aux propos ni aux points de vue des autres, [...] que l'on ramène tout à soi, [...] que l'on prend toujours sa perception immédiate pour absolue* ». Beaudichon & Bideaud (1979) indiquent que l'égocentrisme « *intervient [...] en tant que caractéristique majeure de l'organisation mentale de l'enfant au cours de la période allant de 2 à 10-11 ans [...] tout particulièrement entre 4 et 7-8 ans, [où] il est invoqué pour expliquer certaines conduites erronées qui apparaissent dans tous les aspects considérés du développement : causalité, opérations logico-mathématiques et spatio-temporelles [...]* ». C'est effectivement, d'après Piaget (1947b), entre ces âges que se met en place la pensée intuitive qui est dominée par le rapport immédiat entre, d'une part, le phénomène et, d'autre part, le point de vue de l'enfant. L'égocentrisme logique se manifeste dans le syncrétisme (appréciation globale et indifférenciée des choses) et la transduction (liaison sans logique des préconcepts entre eux et raisonnement du singulier au singulier). L'enfant est incapable de définir, d'analyser et de synthétiser. Il ne dispose que des préconcepts et n'a encore connaissance d'aucune autre expérience que la sienne. Il procède, dans ses représentations, par schémas globaux et par schémas subjectifs. Pour reprendre les termes de Piaget, l'égocentrisme est donc le fait de « *remplacer l'adaptation au monde extérieur par l'assimilation au moi* » (1923, p. 182).

Si, comme précisé, l'égoцентриisme ne permet pas à l'enfant d'établir les relations réelles existantes entre lui-même et les objets environnants ; progressivement, l'enfant va se libérer de cet égoцентриisme, c'est-à-dire se décentrer vis-à-vis de ses propres perceptions et de ses actions immédiates (Chalon-Blanc, 2005). Il se détache donc progressivement de son « égoцентриisme primitif » ou de sa « centration exclusive », afin de découvrir l'environnement dans lequel il évolue et d'en appréhender sa globalité et sa complexité, rendant plus objectif ses rapports au monde et avec autrui. Notamment définie comme la capacité de différencier et de se représenter mentalement le point de vue d'autrui, la décentration est une notion-clé à la base du développement de l'orientation spatiale. Montangero & Maurice-Naville (1994) soulignent le fait que Piaget utilise ce terme selon une acception diachronique (processus de développement progressif de dissociation ou de coordination) et une acception synchronique (coordinations réalisées simultanément par un système d'opérations logico-mathématiques). Par l'intériorisation de coordinations d'actions et par la coordination de centrations successives, l'enfant prend conscience de ses actions propres (exécutées sur des objets) et de leurs résultats (Legendre-Bergeron, 1980). Dès qu'il maîtrise la réversibilité des rapports spatiaux entre les objets, l'enfant conçoit le fait que la position apparente des objets est différente selon l'endroit où se place l'observateur. La décentration représente ainsi le fondement de la maîtrise de l'espace projectif par l'enfant puisque ce dernier peut se décentrer mentalement et devient capable de faire référence à des données extérieures pour décrire la position d'objets. Parallèlement aux acquis réalisés dans l'espace projectif, l'enfant perçoit aussi les rapports spatiaux euclidiens et métriques puisqu'il est à présent capable de faire des estimations quantitatives de distances et de dimensions (Paoletti, 2003).

Trop souvent associés à un stade de développement particulier ou qualifiant abusivement un enfant à un moment spécifique de son existence, ces concepts sont pourtant à distinguer en fonction de chacun des stades de développement. Selon Mounoud (2004, p. 203), *« l'idée cruciale et qui n'a le plus souvent pas été comprise est que ces concepts ne sont pas des absolus ; ils ne qualifient la position de l'enfant par rapport au monde extérieur que de façon relative, par rapport à une catégorie donnée d'instruments de connaissance, par rapport à un niveau de structuration mentale »*. Il ajoute qu'un enfant ne peut pas être qualifié d'« égoцентриique » ou de « décentré » mais *« seulement égoцентриique ou décentré relativement soit à l'organisation mentale de ses activités sensori-motrices [...], soit à l'organisation représentative de ses pensées ou raisonnements concrets [...], soit à l'organisation*

représentative de ses pensées ou raisonnements abstraits [...] » (Mounoud 1997, p. 32). Le passage d'une forme particulière d'égocentrisme à une forme particulière de décentration se réalise donc lors de chaque stade piagétien (Montangero & Maurice-Naville, 1994) et, au cours du développement de l'enfant, des relations d'exclusion mutuelle entre les deux notions sont alors remarquées (Beaudichon & Bideaud, 1979, p. 590).

3. De l'espace sensible à l'espace géométrique

3.1 Différencier l'espace sensible géométrique en fonction de sa taille : du micro-espace au macro-espace

Brousseau (1983, 2000) et Galvez (1985) différencient trois valeurs de la variable « taille » de l'espace avec lequel l'individu interagit. Selon les tailles des espaces, des modèles conceptuels différents sont présentés. Le premier d'entre eux, nommé micro-espace, est défini comme étant un espace proche et extérieur au sujet. Les objets constituant cet espace y sont directement observables et manipulables. En d'autres termes, il s'agit de « *l'espace des interactions liées à la manipulation de petits objets* » (Brousseau, 1983). Le deuxième, dit méso-espace, nécessite de prendre en compte les déplacements du sujet pour avoir une vue complète de l'espace duquel il fait partie intégrante. En d'autres termes, il s'agit pour l'individu d'élaborer une vision globale d'un lieu en coordonnant les points de vue obtenus, au fur et à mesure des déplacements qu'il a lui-même réalisés dans ce lieu. Le troisième, appelé macro-espace, ne peut être appréhendé de manière directe et instantanée étant donné l'importance de sa surface.

Les trois tailles d'espaces définies par Brousseau & Galvez peuvent correspondre à trois catégories de situations: des manipulations d'objets de petites dimensions (relatives au micro-espace), des déplacements domestiques dans une maison, une école ou encore une ville (relatifs au méso-espace) et des déplacements effectués dans de larges espaces tels une province, un pays ou un continent (relatifs au macro-espace).

3.2 Des espaces sensible et géométrique aux connaissances spatiale et géométrique

En géométrie, les débats portant sur la nature de l'espace ne sont pas récents et sont encore d'actualité. En s'appuyant sur quelques travaux relatifs à l'enseignement des mathématiques et à l'histoire des mathématiques, on remarque que les auteurs ont tenté de définir deux types d'espaces permettant de distinguer des connaissances particulières en référence à chacun d'eux.

Poincaré (1943, cité par Berthelot & Salin, 1992) différencie l'espace représentatif, qu'il appelle aussi espace sensible ou réel, de l'espace géométrique. Appréhendé par les sens, l'espace sensible est défini par les espaces visuels, tactiles et moteurs auxquels les individus ont accès. Selon l'auteur, cet espace n'est ni isotrope, ni homogène, ni infini dans la représentation mentale qu'en ont les individus. Qualifié de « physique » par Laborde (1988), l'espace sensible est un objet de perception direct pouvant aussi être appréhendé par des instruments. Se rapprochant également de la notion de perception, Chevallard & Joshua (1991) définit l'espace sensible comme un espace accessible par le biais des sens et comportant des objets.

Pour Douaire, Emprin & Rajain (2009), les « *connaissances spatiales concernent l'espace sensible* » en ce sens qu'elles amènent l'enfant à maîtriser les rapports usuels qu'il entretient avec cet espace. Comme l'indiquent les auteurs, ces « *rapports sont contrôlés par la perception* » (p. 24). Pour Berthelot & Salin (1993-1994, p. 40), les connaissances spatiales peuvent être définies en référence à quatre points principaux : la genèse, le vocabulaire, l'organisation des connaissances et la validation des problèmes. Selon ces auteurs, les enfants disposent de connaissances spatiales sans avoir recours à un enseignement particulier et un vocabulaire est utilisé pour définir différents concepts (l'enfant différencie le carré, le rectangle et le losange, par exemple). Ils indiquent également que ces connaissances sont utilisées pour résoudre une multitude de problèmes dans des disciplines distinctes et qu'il « *n'existe aucune liste d'un ensemble de connaissances spatiales considéré comme minimal* » (Berthelot & Salin, 1992, p. 9). Étant donné la variété de ce type de connaissances dans les pratiques journalières et professionnelles de chaque individu et le manque d'informations relatives à ces connaissances (classifications, taxonomies, par exemples), l'acquisition et la structuration des connaissances spatiales sont moins connues et peuvent donc être plus difficilement organisées. Offrant davantage de

précisions quant aux actions entreprises par l'individu, Berthelot & Salin (1992, p.9) mentionnent que les connaissances spatiales permettent de « *maitriser l'anticipation des effets de ses actions sur l'espace, leur contrôle ainsi que la communication d'informations spatiales* ». A cela, Marchand (2006) ajoute que la connaissance spatiale peut être décrite comme un « *processus qui, par le biais des cinq sens, amène l'apprenant à contrôler, anticiper et communiquer les états, les transformations ou les déformations données d'objets relatifs à l'espace en deux ou trois dimensions. Par exemple, être en mesure d'anticiper la forme, l'apparence, d'un solide d'après son développement relève des connaissances spatiales* » (p. 107).

Concernant l'espace géométrique, Poincaré (1943, cité par Berthelot & Salin, 1992) indique qu'il est continu, isotrope, pourvu de trois dimensions, homogène, infini et qu'il fait l'objet de la géométrie. Définissant la géométrie d'un point de vue plus pratique, Freudenthal (1973, p.403) insiste sur le fait que « *la géométrie, c'est saisir l'espace [...] dans lequel l'enfant vit, respire et se meut. L'espace que l'enfant doit apprendre à connaître, explorer, conquérir pour mieux y vivre, respirer et se mouvoir* ». Rejoignant les propos de Chevallard & Julien (1991, p. 52) notent que la géométrie « *part du monde sensible pour le constituer en monde géométrique* » et qu'elle est le « *résultat de l'effort théorique appelé 'géométrie' pour rendre raison du sensible* » (Chevallard, 1991, cité par Berthelot & Salin, 1992, p. 28). Ces auteurs s'entendent donc sur le fait que la géométrie dans l'espace est née du souci de comprendre et d'étudier les propriétés de l'espace dans lequel l'individu évolue (Bkouche, 1990). Selon Berthelot & Salin (1992, p. 13), la géométrie n'est pas acquise de manière spontanée et nécessite, contrairement aux connaissances spatiales, un enseignement. Cet enseignement conduit notamment, pour reprendre le même exemple que précédemment (différenciation du carré, rectangle et du losange dans les connaissances spatiales), à faire remarquer, qu'en géométrie, le rectangle et le losange sont des carrés (vocabulaire spécifique et acquisitions de notions théoriques permettant d'affirmer cela). Concernant l'organisation des connaissances géométriques par rapport à l'organisation des connaissances spatiales, un constat différent est également posé par les auteurs. Selon eux, les connaissances géométriques sont identifiées, organisées et enseignées selon une hiérarchie déterminée par les théories mathématiques. Bien que celle-ci ait évolué au fur et à mesure des recherches effectuées par les mathématiciens, l'enseignement de la géométrie reste régi par un consortium de règles (taxonomie, hiérarchie de contenus...) qu'il convient d'appliquer. Plus récemment, Perrin-Glorian, Mathé & Leclercq (2013) résument la

fonction du monde géométrique en mentionnant le fait qu'il « *fournit les outils théoriques permettant de résoudre un problème géométrique qui modélise le problème réel* » (p. 19).

Même s'il existe des différences entre les deux types d'espaces ainsi qu'entre les connaissances qui y sont associées, tous entretiennent de fortes relations mutuelles (Berthelot & Salin, 1993-1994). Ainsi, la géométrie se constitue avant tout sur le terrain des expériences sensorielles et mécaniques et serait impossible sans celles-ci. La majorité des auteurs (Berthelot & Salin, 2001 ; Baldy *et al.*, 2005 ; Douaire, Emprin & Rajain, 2009) reconnaissent que les connaissances spatiales sont (doivent être) construites par l'enfant, à l'école, dès la maternelle (par le biais d'expériences, des activités de repérage, de positions relatives d'objets et de parcours, notamment), et hors de l'école, en dehors de tout enseignement. C'est donc la maîtrise des connaissances spatiales qui permet d'acquérir des savoirs géométriques et de résoudre des problèmes de géométrie (Berthelot & Salin, 2001 ; Baldy *et al.*, 2005). Par ailleurs, la géométrie et l'espace physique dans lequel nous évoluons entretiennent aussi des liens complexes. Les différences existantes entre les deux types d'espaces laissent entrevoir les difficultés, pour l'élève, d'effectuer de manière spontanée le passage de l'un à l'autre. D'après Douaire, Emprin & Rajain (2009, p. 24), les connaissances géométriques portent sur « *des objets idéaux, mais qui ont des représentations dans l'environnement familier des élèves* ». Ainsi, dans les programmes d'études, on retrouve des intitulés présentant ce double aspect 'modélisation spatiale/théorie mathématique' (i. e. à partir de dessins ou de tracés, élaborer ou utiliser des modélisations spatiales en s'appuyant ou non sur des connaissances géométriques). Du point de vue pédagogique, Mathé (2012) indique que c'est dans un mouvement de va-et-vient entre, d'une part, l'espace réel et, d'autre part, l'espace géométrique que s'effectuent les apprentissages à la fin du primaire. On peut donc dire que l'enseignement de la géométrie repose sur la différenciation et la coordination entre l'espace sensible et l'espace géométrique (Gobert, 2001, p. 6). À ce sujet, Laborde (1990) souligne le fait que l'enseignement (et donc l'enseignant) doit également permettre à l'apprenant de différencier l'espace physique de l'espace géométrique. Selon l'auteur, c'est lorsque l'apprenant aura pris connaissance de cette distinction qu'il pourra comprendre les problématiques et questions posées en géométrie et parviendra alors à fournir les réponses adéquates et attendues. Cela nécessite donc une attention particulière de la part de l'enseignant. Vigilance d'autant plus importante que, comme le mentionnent Berthelot et Salin (1993-1994, p. 52), une des

caractéristiques de l'enseignement de la géométrie à l'école primaire est souvent de « *sous-estimer la difficulté d'acquisition des connaissances spatiales proprement dites et de laisser à l'élève la charge d'établir des rapports adéquats entre l'espace sensible et les concepts géométriques qui lui sont enseignés et qui sont censés lui donner prise sur ce domaine de réalité* ». Bien souvent, quand l'adulte qui a acquis des connaissances géométriques parvient à projeter ces connaissances sur l'espace sensible, le caractère simple de certaines de ces projections peut le conduire à sous-estimer les difficultés que peuvent éprouver les enfants à résoudre certains problèmes. Comme l'indique Salin (2008, p.663), « *l'évidence de la solution nous empêche de saisir tout le chemin que doit faire l'élève pour s'approprier ces concepts et acquérir par exemple une des compétences énumérées dans le programme comme celle-ci : 'décomposer une figure en figures plus simples'. Ici, il faut concevoir qu'un rectangle peut être décomposé en 4 droites perpendiculaires. Hé bien, ce n'est pas si simple !* ». Il convient donc aux enseignants de rester attentifs aux obstacles susceptibles d'être rencontrés par les élèves lorsque ceux-ci passent d'un espace à un autre ou d'une connaissance à une autre. Pour cela, l'enseignant lui-même doit avoir conscience de l'existence de ces deux types d'espaces et de leurs caractéristiques respectives. Le passage d'une conception à une autre, « *le saut d'un monde à un autre* » (pour reprendre l'expression de Berthelot & Salin, 1992, p. 32), ne doit pas être exclusivement à la charge des apprenants (Gobert, 2001, p. 24).

3.3 Entre l'espace sensible et l'espace géométrique... l'espace spatio-géométrique et l'espace graphique

Le terme de « connaissances spatio-géométriques » a été choisi pour désigner les connaissances géométriques mises en œuvre dans la résolution de problèmes spatiaux (Berthelot & Salin, 1993-1994, p. 45). Décrite comme ayant une existence stable, la justification de la présence de ce type de connaissances dans l'enseignement primaire a cependant varié au cours du temps (« *conçues autrefois comme nécessaires aux pratiques de mesurage [...], elles apparaissent dans les [programmes d'études] comme un lieu d'exercice de la « pensée mathématique* », c'est-à-dire en référence au savoir savant, celui produit par l'institution des mathématiciens », Berthelot & Salin, 1993-1994, p. 45). Parmi les connaissances de ce type, on peut citer les calculs de périmètres, d'aires ou de volumes qui portent sur les formes des objets et la connaissance de leurs propriétés.

Pour caractériser les différents rapports possibles entre la géométrie et le monde réel, auquel appartiennent les objets tangibles, Perrin-Glorian *et al.* (2013) se basent sur la distinction « espace sensible/espace géométrique » proposée par Berthelot & Salin pour mettre en évidence trois espaces en jeu dans le travail géométrique : l'espace sensible, l'espace graphique et l'espace géométrique théorique. Ces auteurs font donc explicitement référence à l'espace sensible, monde à trois dimensions dans lequel le problème trouve son origine. Concernant l'espace mathématique, celui-ci est scindé en deux mondes : le monde géométrique et le monde graphique (Perrin-Glorian, Mathé et Leclercq 2013, p. 19). Les espaces sensible et géométrique ayant déjà été décrits précédemment, seul l'espace graphique sera ici défini.

Comme l'indiquent Baldy *et al.*, (2005), l'« *établissement des rapports entre l'espace sensible et les concepts géométriques passe en outre par une réflexion sur des figures tracées dans l'espace graphique* » (p. 54). Ainsi, l'espace graphique est un « *lieu d'expérimentation aussi bien pour un problème qui se pose dans le monde physique que pour un problème théorique* » (Perrin-Glorian, Mathé & Leclercq, 2013, p. 19). Il est matérialisé par des « figures-dessins » tracées notamment appelées dans la littérature « concepts figuraux » (Fischbein, 1993, p. 143), « modélisation graphique » (Chevallard & Julien, 1991, p. 62), « dessin » (Gobert, 2001, p. 12)..., qui constituent des moyens de se représenter le problème pour en trouver sa résolution. Pour Poincaré, « *la fonction des dessins est de provoquer la mise en relation de propositions que l'on sait associer à tel ou tel tracé ou portion de dessin, mais le constat de ces propriétés sur la « figure-dessin » ne permet pas de valider la proposition mise à l'étude [...], ce que les élèves de collège ont tant de mal à comprendre* » (Berthelot & Salin, 1993-1994, p. 42). Charalambos (1997) souligne notamment le rôle important de l'utilisation des figures dans l'enseignement de la géométrie en rappelant qu'elles possèdent quelques-unes des propriétés d'un concept (relatives à son idéalité, son caractère abstrait ou encore son universalité) et des propriétés figuratives que les concepts ne possèdent pas.

3.3.1 Le conflit VU/SU

Colmez & Parzysz (1993) ont mené des recherches d'ingénierie didactique relatives à la représentation de l'espace en géométrie. Une de leurs expérimentations, menée auprès de plus de 1200 élèves de 8 à 17 ans, porte sur la représentation d'une pyramide régulière à base carrée (objet géométrique dont seules les arêtes sont matérialisées).

Elle permet de s'interroger sur la manière dont les élèves parviennent à gérer le conflit « SU/VU ». Ce conflit cognitif oppose deux pôles : le « VU » qui est une représentation de l'objet tel qu'il est imaginé par le sujet et le « SU » qui est une représentation de l'objet sans modification des propriétés connues par le sujet (Parzysz, 1988). La consigne dispensée est la suivante : « *Faites un dessin soigné d'une pyramide comme celle qui est sur le bureau, de façon qu'un de vos camarades, en voyant le dessin, puisse reconnaître un tel objet parmi d'autres solides posés sur une table* » (Colmez & Parzysz, 1993, p. 39). Au total, près de 1500 productions, sous la forme de dessins, sont récoltées. Ces productions sont ensuite analysées et réparties en 21 catégories. Le nombre de catégories créées révèle une forte diversité des productions réalisées. Concernant les résultats, trois attitudes apparaissent successivement et coexistent à certains niveaux scolaires. Au CE2 principalement (ce qui correspond à la 3^e année de l'enseignement fondamental belge), les représentations ne laissent pas paraître de conflit « SU »/« VU ». Ceci est expliqué par le fait que le pôle du « SU » ne perturbe pas l'élève dans la représentation qu'il fait de la pyramide dans la mesure où ce dernier n'a pas conscience des propriétés géométriques du solide considéré. Du CM à la 3^e année (de la 4^e année de l'enseignement fondamental à la 3^e année du secondaire en Belgique), les représentations intègrent le « SU » (à savoir, les propriétés de l'objet) au « VU » (à savoir, la représentation imaginée de l'objet) de manière plus ou moins compatible, en fonction de la maîtrise des propriétés géométriques de l'objet en question. À ce niveau scolaire, les élèves cherchent alors à rendre compte de la tridimensionnalité de l'objet par la traduction immédiate de ses propriétés (pôle du « SU ») en faisant correspondre le plus possible ces connaissances avec la représentation dont ils disposent de cet objet (pôle du « VU »). À partir de la 3^e année, les représentations portent sur le « SU » raisonné qui résulte d'une « *reconstruction mentale de l'objet, fondée sur une propriété non immédiatement accessible* » (Colmez & Parzysz, 1993, p. 54). En fonction du niveau scolaire, on voit ainsi progressivement apparaître une prédominance du pôle du « SU » sur le « VU ». À ce moment, l'élève doit alors trouver un compromis entre ce qu'il sait et ce qu'il voit, en vue de réaliser un dessin qu'il juge le plus correct possible. Pour cela, il est contraint de perdre de l'information (d'autant plus que le passage de la 3D à la 2D implique également cette perte d'information). Les auteurs expliquent cependant que si le dessin évolue avec les progrès du « SU », à tout instant, « *comme l'activité proposée ne permet pas, par elle-même, une validation de la production, c'est le « VU » qui sert de contrôle* » (ibidem, p. 54).

Enfin, cette expérimentation permet d'affirmer que la représentation d'un solide géométrique n'est pas un exercice facile pour l'élève puisqu'il ne lui permet pas de proposer une production qui tienne à la fois compte du pôle « SU » et du pôle « VU ». L'expérimentation démontre également que la gestion du conflit « VU »/ « SU » revêt des formes différentes en fonction du niveau scolaire (des connaissances géométriques mais aussi des capacités graphiques) et que les choix posés par les élèves ne sont pas sans difficultés.

3.4 Caractérisation des problématiques spatiales, géométriques et spatio-géométriques

La résolution de problèmes spatiaux ou géométriques ne requiert pas les mêmes compétences. Si, dans un premier temps, les auteurs (Berthelot & Salin, 1993-1994, p. 41) ont distingué ces deux types de problèmes, par la suite, d'autres auteurs en ont ajouté un troisième : les problèmes spatio-géométriques (Salin & Berthelot, 2001 ; Gobert, 2007 ; Perrin-Glorian *et al.*, 2013).

Alors que pour les problèmes spatiaux, l'individu peut mobiliser des ressources extérieures aux mathématiques (utilisation de gabarits, dispositions par essais-erreurs, par exemples), la maîtrise des connaissances géométriques requiert l'utilisation de propriétés mathématiques (formules, théorèmes...). Ainsi, les auteurs précisent qu'il existe des différences entre des situations et problèmes spatiaux et des situations et problèmes géométriques. Ils indiquent que les situations spatiales portent sur l'espace physique, dit sensible ou réel, ainsi que sur les objets directement accessibles et qu'elles permettent de le structurer. En d'autres termes, les relations existantes entre les individus et les objets, les objets entre eux, les individus entre eux sont donc appréhendées par le biais de situations spatiales. En lien direct avec les situations spatiales, les problèmes spatiaux se rapportent également à l'espace sensible et sont résolus par la réalisation d'actions (plier, construire, se déplacer, découper, dessiner...) ou la communication de ces actions ainsi que des constats relevés à la suite de ces actions. Les résolutions de problèmes spatiaux relèvent de solutions empiriquement validées par la comparaison entre, d'une part, les résultats attendus et, d'autre part, les résultats obtenus.

En ce qui concerne les situations géométriques, celles-ci mettent en interaction un sujet mathématicien avec un espace conceptualisé et non plus physique. Alors que les problèmes spatiaux sont résolus de manière empirique, les problèmes géométriques relèvent, quant à eux, de solutions mathématiquement prouvées.

Reprenant la distinction entre espace sensible/espace géométrique et entre connaissances spatiales/connaissances géométriques, Berthelot et Salin (2001) ont, plus récemment, distingué trois problématiques dans l'enseignement de la géométrie élémentaire. La première de ces problématiques est *géométrique*. Elle correspond à une résolution de problème dans le modèle théorique provenant de la géométrie. Sa validation est théorique et s'effectue le plus souvent par une démonstration. La deuxième est *pratique* ou *spatiale* et correspond à une résolution de problème dans l'espace sensible avec des moyens provenant de cet espace. Sa validation est directement réalisée dans l'espace sensible. La troisième problématique est *spatio-géométrique*, ou dite de modélisation, et correspond à un problème de l'espace sensible qu'on représente dans un « *modèle théorique, pour lequel on met en œuvre des résultats théoriques mais qu'on valide au final dans l'espace sensible* » (Perrin-Glorian, Mathé & Leclercq, 2013, p. 10). En insistant sur le fait que le problème soit posé dans un environnement graphique (objets théoriques représentés sur une feuille de papier ou un écran d'ordinateur, schématisation d'objets du monde sensible sur un tableau ou sur toute surface plane pouvant contenir des signes graphiques...), d'autres auteurs préfèrent parler de problématique *graphique* ou *spatio-graphique* (Gobert, 2007 ; Perrin-Glorian & Salin, 2010). Cette problématique est définie par Douaire, Emprin & Rajain (2009, p. 24) comme « *un espace que l'élève contrôle, en partie du moins, par la perception et qui est constitué à la fois d'un ensemble d'objets spatiaux, d'un ensemble de représentations d'objets de l'espace sensible et d'un ensemble de représentations d'objets théoriques* ».

4. De l'espace sensible à l'espace géographique

4.1 Différencier l'espace sensible géographique en fonction de sa taille : de l'espace figural à l'espace géographique

Denis (2012, p. 101) indique qu'« *aborder la question de la cognition spatiale impose de considérer les diverses acceptions de la notion d'espace, à commencer par les différentes « tailles » de l'espace, tel que celui-ci est appréhendé par l'esprit humain* ». En fonction de la taille de l'environnement, les entités présentes et les déplacements effectués sont différents. Plusieurs auteurs (i.e. Ittelson, 1973 ; Garling & Golledge, 1987 ; Tversky, 1991 ; Montello, 1993) ont, pour la géographie, décrits des types d'espaces sous la forme de classifications. Source de stimulations multiples, chacun de ces espaces nécessite une coordination inter-sensorielle.

Les distinctions établies entre les petits et grands espaces ont, par exemple, permis d'envisager le fait qu'un espace à grande échelle peut être appréhendé à partir de plusieurs points de vue, que la locomotion et l'intégration continue des informations sont nécessaires (Ittelson, 1973). Il apparaît alors que le rôle des différents systèmes sensori-moteurs dépend de la taille des espaces à appréhender.

Mandler (1983) distingue ainsi trois catégories d'espaces psychologiques : à petite échelle (« *small-scale place* »), à moyenne échelle (« *medium scale place* ») et à grande échelle (« *large-scale place* »). Les espaces à petite échelle sont, selon l'auteur, appréhendés à l'extérieur de l'espace lui-même, à partir d'un seul point de vue (i.e. une table). Les objets sont donc perçus sans qu'aucun déplacement ne soit nécessaire. Les espaces à moyenne échelle sont appréhendés par la locomotion dans l'espace, bien que les relations spatiales puissent encore être observées directement d'un seul point de vue (i.e. une chambre). Les relations spatiales dans des espaces à grande échelle ne peuvent, quant à elles, pas être observées directement mais doivent être élaborées au fil du temps de la locomotion dans l'espace (une maison à plusieurs pièces et/ou étages ou encore une ville). Garling & Golledge (1989) ont, quant à eux, aussi distingué ces trois types d'espaces (« *small, medium and large* ») en fournissant des exemples (chambre comme petit espace, bâtiment comme moyen espace, ville comme large espace) mais n'ont pas précisé le fondement de leur classification. Seule l'organisation hiérarchique des espaces est présentée.

Faisant référence au corps de l'individu, Tversky (1991, 2001) identifie trois espaces distincts : l'espace du corps, l'espace environnemental et l'espace de navigation. L'individu interagit avec de nombreux espaces. L'espace du corps est celui que l'individu peut ressentir de façon directe quand il mange ou quand il effectue des mouvements. Lorsque l'individu se trouve dans une salle ou un magasin, il interagit avec l'espace environnemental sans s'y déplacer. L'espace dans lequel l'individu se déplace (i.e. « wayfinding ») et dans lequel il peut estimer des distances constitue l'espace de navigation. Dépendamment de leurs fonctions et de leurs structures, les espaces sont donc à distinguer.

Enfin, sur la base des définitions apportées par Tversky (1991), Montello (1993) propose de différencier quatre classes d'espaces cognitifs : l'espace figural, l'espace vista ou l'espace panoramique, l'espace environnemental et l'espace géographique. L'espace figural peut être appréhendé par le corps de l'individu (par ses sens), sans qu'il ne se déplace (i.e. des objets présents d'un salon). L'espace vista, pouvant également être perçu sans qu'un déplacement ne soit réalisé, est, quant à lui, plus grand que le corps de l'individu. Il englobe l'ensemble de l'espace pouvant être vu (i.e. un salon). L'espace environnemental est perçu quand l'individu effectue des déplacements plus importants (i.e. un quartier, un village, une métropole). L'espace géographique est un espace large que l'individu ne peut appréhender uniquement par ses déplacements (i.e. un pays, un continent). Pour prendre connaissance de ce dernier espace, l'utilisation de cartes est nécessaire.

4.2 Évolution de la géographie comme science de l'organisation de l'espace et des pratiques et représentations spatiales

Contrairement à d'autres sciences ou disciplines (telles que les sciences humaines et sociales, la physique, la chimie, la biologie, les mathématiques ou encore le français...) dont les buts sont clairement identifiés et universellement entendus, la géographie se présente « *avec un cortège de définitions très diverses, de conceptions et d'orientations profondément influencées par les personnalités, et les tempéraments des géographes* » (Pinchemel, 1966, p. 22). La géographie, définie en tant que « *science de l'espace* », a longtemps été envisagée comme une science empirique (fondée sur l'observation et la description) prônant, de fait, une démarche inductive. À

propos de cette géographie, Spork & Tulippe (1966, p. 18) écrivent : « *La géographie, sous son aspect descriptif, doit être considérée comme une science de l'observation, [...], il faut habituer l'élève à l'observation du milieu géographique où il vit, du milieu physique aussi bien que des activités humaines et des manifestations extérieures de ces activités* ». Bien qu'il soit ici fait allusion d'une composante sociale, la géographie de l'époque consiste, pour une part importante, en une « *science des paysages* » se basant sur la description explicative de ces paysages. L'organisation (spontanée, dirigée consciente ou inconsciente) de l'espace est donc principalement étudiée au travers de paysages décrits. Dans les années 1960, sous l'impulsion des sciences sociales et plus globalement des sciences humaines, un changement de paradigme a lieu et modifie profondément le profil de la discipline. Dorénavant, les approches et méthodes hypothético-déductives sont plus valorisées que les méthodes inductives et les démarches de travail consistent désormais à analyser une problématique ciblée, à formuler des hypothèses et à les tester, à rechercher des régularités existantes... Les analyses paysagères apparaissent comme dépassées puisqu'alors « *l'observable ne prend de sens que comme aboutissement d'une réflexion théorique menée en amont* » (Allemand, Dagorn & Vilaça, 2005, p.44). De plus, ne permettant l'analyse que de ce qui est visible (du perceptible), à une distance donnée (une seule échelle), selon des prises de vue spécifiques (le paysage peut disparaître en fonction des angles de plongée ou de contre-plongée), le paysage en tant que tel ne se révèle plus être à utiliser en priorité et exclusivité (Cauquelin, 1989 ; Chouquer, 2002). Parallèlement à l'abandon progressif de l'étude des paysages, Haggett (1965) introduit, via son ouvrage « *Locational Analysis in Human Geography* », la notion d'analyse spatiale. La discipline géographique, autrefois décrite comme empirique, inductive, typologique... se retrouve alors transformée en une discipline « *théorique, déductive, recherchant la logique, les régularités, les principes de différenciation et d'organisation, identifiant des structures spatiales, dégagant des modèles et des séquences d'organisation territoriale* » (Pinchemel, 1965, cité par Bailly & Ferras, 2010). En d'autres termes, sous l'angle de l'analyse spatiale, la géographie a pour principal objectif d'étudier les sociétés au travers de leurs dimensions spatiales, tout en prenant en considération l'ensemble des interactions entre l'homme et son espace (Bavoux, 2010). Dans les années 1970, plusieurs auteurs font explicitement référence à une *géographie* dite de *la perception*, bien que, dans les faits, celle-ci ne soit pas vraiment différenciée de la géographie des représentations. Bonin (2004) précise d'ailleurs à ce sujet que la « *géographie de la perception* » (Bailly, 1974), [...] sans

changer d'objet véritablement, devien[t] « *géographie des représentations* » (Bailly, 1985). Trouvant son origine dans les questions et problématiques d'orientation et de localisation de l'Homme (Bailly, 1985), la géographie des représentations est plus récemment définie comme l'« *étude de l'organisation de l'espace et des pratiques et représentations spatiales qui en résultent* » (Bailly, 2009, p. 38 ; Bailly & Ferras, 2010). Basée sur des représentations, au sens piagétien du terme, la géographie telle que définie par les récents auteurs, n'aborde pas l'espace en soi mais le sens de l'espace dans sa composante sociale, culturelle et puis environnementale. « *Sans l'apport des représentations, la géographie aurait quitté le champ des sciences sociales pour devenir science de la Terre ou une pure science technique... ce que craignait J. Piaget, qui a toujours demandé aux géographes de se déterminer entre ces deux champs disciplinaires. Avec ceux qui ont suivi ce parcours, les J.B. Gaspar au Portugal, les J.B. Racine en Suisse, les J.P. Guérin, H. Gumuchian, R. Ferras en France, les B. Mérenne en Belgique... pour ne citer que quelques noms, nous avons influencé le cœur même de la géographie et ouvert la voie à une géographie nouvelle* » (Bailly, 2009, p. 38). Par le biais de l'analyse des pratiques et des discours spatiaux, le but de cette *géographie* est de dégager des cohérences, des répétitions, des exceptions mais aussi des particularités. Si, au départ, les géographes se sont focalisés sur le contenu de la représentation, par la suite, ils se sont également intéressés aux processus mentaux mis en œuvre lors de l'élaboration de représentations. Ainsi, la géographie des représentations s'interroge également « *sur le « world in the head », c'est-à-dire aux processus qui sous-tendent les comportements humains avec comme postulats principaux [...] : que la connaissance humaine est acquise à travers l'expérience temporelle, spatiale et sociale ; que les représentations et l'imaginaire renvoient à la genèse des connaissances ; qu'il existe une relation directe et indirecte entre ces représentations et les actions humaines* » (Bailly, 1985, p. 198). Plus concrètement, en géographie des représentations, les travaux sur la configuration cognitive de l'espace ont concerné les aspects structurels et fonctionnels de l'espace mental (i.e. estimation des distances, élaboration de cartes mentales, capacité d'orientation dans un milieu urbain). En se basant sur les apports de la psychologie et des sciences cognitives, un intérêt particulier est porté sur les processus mis en œuvre dans les représentations visées. L'article de Bailly (1974) intitulé « *La perception des paysages urbains* » illustre parfaitement cet intérêt. S'inscrivant dans une perspective piagétienne, cet auteur décrit le processus de perception menant vers la représentation (Figure 3.3). Il met en évidence le fait que l'individu intervient dans le processus

perceptif en tant qu'être pensant et mémorisant et que le sens et la valeur de la perception dépendent des rapports que l'individu entretient avec son milieu culturel, économique et social. Il fait également remarquer qu'étant donné ses possibilités limitées, l'individu ne perçoit le monde sensible que partiellement. Les informations reçues par ce dernier résultent en effet d'un filtrage opéré par ses sens limités et par ses possibilités de communication (Rosenblith, 1961, cité par Bailly, 1974, p. 214). Alors que la perception exige un contact sensoriel direct avec des objets de l'environnement, la représentation permet, elle, l'évocation mentale des objets lorsque ceux-ci ne sont plus directement appréhendés par les sens.

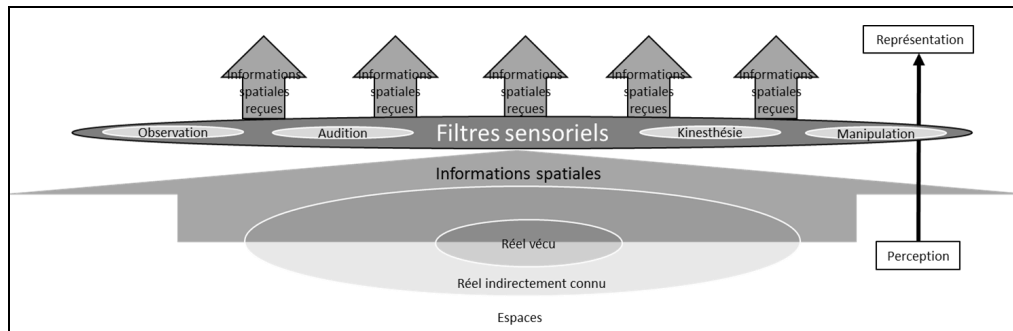


Figure 3.3 - Perception des espaces vers la représentation
(illustration modifiée d'après Bailly, 1974)

4.3 Des espaces sensible et géographique aux connaissances spatiale et géographique

Tout comme il a été possible de différencier l'espace géométrique de l'espace sensible et, de fait, les connaissances spatiales des connaissances géométriques, il est ici question de distinguer les connaissances géographiques des connaissances spatiales.

Si Brunet, Ferras & Théry (2005) considèrent l'espace géographique, au sens physique du terme, comme une étendue terrestre, comprenant un ensemble de lieux qui entrent en relation les uns avec les autres, utilisée et aménagée par les individus en vue de leur reproduction, Bailly (1984) insiste, quant à lui, sur le fait que l'espace géographique est un espace formel et construit par les géographes à partir de quelques caractéristiques de l'espace. Prenant appui sur ces définitions de l'espace géographique, les connaissances géographiques peuvent être traduites comme étant des contenus portant sur un espace formalisé et construit en lien avec les

caractéristiques de l'espace terrestre (incluant les composantes physiques et sociales qui s'y rapportent).

En empruntant les définitions de « *connaissances spatiales* » proposées par d'autres auteurs précédemment cités (Berthelot & Salin, 1992 ; Marchand, 2009), on peut appliquer les caractéristiques de ces connaissances à la discipline géographique. Ainsi, du point de vue de la géographie, les connaissances spatiales décrivent les acquisitions réalisées par le biais des canaux sensoriels qui permettent à un individu d'anticiper et de contrôler les effets de ses propres actions sur un environnement en deux ou trois dimensions et également de communiquer les informations spatiales résultant de ses propres actions. En géographie, une connaissance spatiale exercée serait, par exemple, de se déplacer dans un environnement donné en exécutant des consignes orales. Tout comme les apprentissages et contenus géométriques peuvent être différenciés des contenus et apprentissages spatiaux, les apprentissages géographiques peuvent ainsi être distingués des apprentissages spatiaux.

Au terme d'une partie de la revue de la littérature portant sur l'espace, il est à présent possible de mettre en évidence plusieurs types d'espaces pouvant ou non être rattachés à une discipline particulière, à savoir la géométrie ou la géographie. Ces types d'espaces sont représentés en Figure 3.4. Sur cette représentation, on peut remarquer l'existence de trois composantes différentes : la composante géométrique, la composante géographique et la composante spatiale. Si les deux premières composantes sont rattachées à une discipline particulière, la composante spatiale peut, quant à elle, être indépendante de ces disciplines.

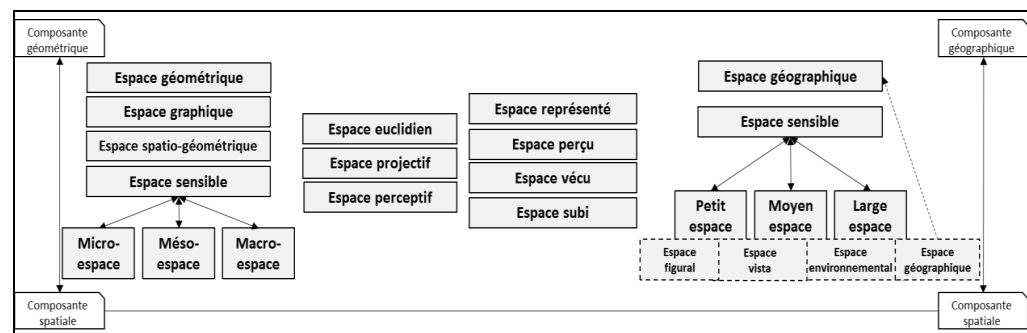


Figure 3.4 - Représentation des différents espaces

5. La cognition spatiale

5.1 Mise au point terminologique

Sans plus attendre, une mise au point terminologique s'impose. Étant donné que la majorité des termes utilisés en cognition spatiale (et plus globalement dans le domaine de l'espace quelle qu'en soit sa spécificité d'ailleurs) diffère en fonction des traductions et des auteurs (Cauvin, 1999, fait par exemple fit des termes déjà employés pour désigner la « représentation externalisée » et préfère utiliser le terme de « configuration cognitive », sans pour autant apporter de réelle différence par rapport aux autres déjà définis...), il convient ici de s'accorder sur l'acception réservée à certains termes. Pour éviter toute confusion, le terme de perception sera dorénavant utilisé (Delorme & Flückiger, 2003) au sens piagétien du terme (c'est-à-dire, comme processus de recueil et de traitement de l'information qui exige un contact sensoriel direct avec des objets présents, processus qui renvoie à une réalité présente dans l'action). Le terme de représentation, défini de façon générale comme « *création sociale ou individuelle de schémas pertinents du réel* » (Piaget & Inhelder, 1972, p. 28 ; André *et al.*, 1989 ; Bailly, 1995), conserve son sens global mais est distingué sur le plan terminologique pour rendre compte du caractère internalisé ou externalisé de la représentation (Monnet, 1999, p. 80). Ainsi, on différencie la « représentation mentale » qui désigne l'évocation d'un contenu en son absence perceptive et qui est reconstruite à partir des caractéristiques individuelles, sociales et environnementales (au sens piagétien du terme) de la « représentation externalisée ». Cette dernière décrit les représentations comme des objets matérialisés dans des textes ou des images iconiques, par exemples.

Il est à noter que les termes précisés ci-avant peuvent recouvrir d'autres notions plus spécifiques et reconnues par la communauté scientifique. Dès lors, des distinctions terminologiques seront maintenues (notamment pour le concept de « *cognitive map* » ou « *carte cognitive* », en français, employé par Tolman dès 1948, par exemple).

5.2 Les référentiels spatiaux

5.2.1 Les cadres de référence égocentriques, allocentriques et la mise à jour égocentrée

Un référentiel est un système d'éléments dits de référence, stables, permettant de repérer d'autres éléments variables. Il est communément admis que les informations spatiales (objets) sont codées sur la base de deux systèmes de référence : l'un égocentrique, l'autre allocentrique (Hart & Moore, 1973 ; Berthoz, 1991 ; Klatzky, 1998). Pick & Lockman (1981) précisent la manière dont les cadres de référence entrent en interaction lors de l'apprentissage d'un environnement et soutiennent le fait que les informations spatiales sont d'abord repérées dans un référentiel égocentrique et ensuite, dans un référentiel allocentrique. D'autres auteurs distinguent le référentiel égocentrique statique du référentiel égocentrique mis à jour automatiquement lors de déplacements.

Dans le cadre de référence égocentrique (Chen & Stanney, 2002), le codage des informations spatiales (distances et angles) se rapporte à l'individu (importance des informations proprioceptives et vestibulaires). Le système de référence égocentré détermine alors la position d'un objet par rapport à un point de l'espace corporel (Pennel, Coello & Orliaguet, 2001). L'évaluation des distances séparant l'objet de l'individu en question se réalise de façon plus efficace que lorsqu'il s'agit d'évaluer la distance séparant deux objets extérieurs à l'individu. Le codage dans un référentiel égocentrique est considéré comme simple et polaire puisqu'il ne nécessite aucun changement de référentiel pour mettre à jour les représentations internes de l'environnement. Toutes les informations spatiales, qu'elles soient visuelles (i.e. une scène), tactiles (i.e. un objet) ou autres, sont d'abord perçues par un individu qui se situe à un certain endroit et qui regarde dans une direction donnée ; en ce sens, l'expérience que l'individu a de l'espace dans lequel il se trouve mobilise essentiellement son référentiel égocentrique⁷.

Ce référentiel égocentrique dit statique est, lors d'un trajet réalisé par l'individu, mis à jour automatiquement (Freksa, Habel, Wender, 1998 ; Gomez, 2011). Toujours basé

⁷ Alors que Pêcheux (1975) établit une distinction entre une référence égocentrée et une référence égocentrique en ce sens que, dans une situation donnée, la référence à soi-même est ou non valide (p. 20), la majorité des auteurs ne prend pas en compte cette subtilité terminologique. Dans le cadre de ce travail, les deux appellations sont conservées et utilisées sans distinction.

sur la position de l'individu dans l'environnement (référentiel égocentrique), ce référentiel implique ici une mise à jour constante des informations intégrées afin de parvenir à destination. Le traitement des informations spatiales est dit dynamique et s'actualise en fonction des déplacements effectués par l'individu. Selon Gomez (2011), ce référentiel code essentiellement des informations idiotéthiques, c'est-à-dire basées sur le mouvement de l'individu.

Le codage des informations spatiales dans un référentiel allocentrique (ou exocentrique) s'effectue par rapport à un référentiel arbitraire externe. En d'autres termes, le système de référence allocentrique détermine la position de l'objet en référence à un point de l'espace extra-corporel (Pennel, Coello & Orliaguet, 2001). Ce type de codage permet d'évaluer les distances et de juger des relations relatives entre deux objets extérieurs à l'individu. Le calcul des distances et des angles s'effectue indépendamment de la position de l'individu. Ainsi, il n'est pas nécessaire de réaliser la mise à jour des positions des objets lors de chaque déplacement réel ou simulé de l'individu. La capacité à recourir à un référentiel de ce type « *sous-tend la capacité de décentration, c'est-à-dire la capacité à comprendre et déterminer la perspective de vue d'une autre personne* » (Pierre & Soppelsa, 1998, p. 206). La position des objets ainsi que les distances séparant les objets composant un environnement donné permettent de faire de nombreuses inférences spatiales (i.e. prise de raccourcis, meilleure appréhension de l'espace entraînant la découverte de nouveaux chemins) (Presson *et al.* 1989). Pour Satalich (1995), la représentation élaborée à partir d'un référentiel allocentré est considérée comme « *à vol d'oiseau* ». Ce type de connaissance peut être acquis de deux manières distinctes. L'une d'entre elles, nommée configuration primaire, consiste en l'exploration répétée de l'environnement en empruntant plusieurs itinéraires différents ; l'autre, appelée configuration secondaire, se base sur l'étude de plans ou d'images. Plusieurs auteurs (Presson & Hazelrigg, 1984 ; Scholl, 1993) évoquent la pauvreté des connaissances acquises par le biais de cartes par rapport aux connaissances acquises par le biais de l'exploration directe d'un environnement (localiser avec précision un lieu, changer de perspectives).

5.2.2 Référentiels relatif, intrinsèque et extrinsèque

De manière plus spécifique, Levinson (1996, 2003) propose, quant à lui, de distinguer trois types de référentiel utilisés par l'individu pour localiser un objet. Il s'agit des référentiels relatif, intrinsèque et extrinsèque. Dans un référentiel relatif, l'objet est

situé par rapport à un objet de référence en fonction du point de vue de l'observateur. A cet égard, le référentiel relatif apparaît comme un exemple de référentiel égocentrique. Par référentiel intrinsèque, il faut comprendre que l'objet est, indépendamment de tout point de vue, situé par rapport à un objet de référence qui doit présenter une asymétrie intrinsèque, qui doit donc être orienté. Le référentiel extrinsèque permet quant à lui de situer l'objet de manière absolue, indépendamment de tout objet de référence ou de tout point de vue, à l'intérieur d'un système de coordonnées. Ce système de coordonnées peut être de nature différente (points cardinaux, par exemple). Ces référentiels, intrinsèque et extrinsèque (ou absolu, Kemmerer, 2006), peuvent être considérés comme deux référentiels allocentriques (Levinson, 1996) (Figure 3.5).

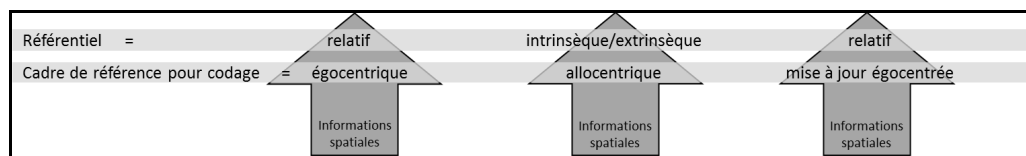


Figure 3.5 - Traitement des informations spatiales à travers des cadres de référence et des référentiels

5.3 La cognition spatiale, définitions

Définie par Neisser (1976) comme l'acte de connaître, l'acquisition, l'organisation et l'utilisation de la connaissance, la cognition est un processus complexe qui repose sur l'interaction des structures sensori-motrices et des systèmes neurologiques d'un individu (Osberg, 1993). Dans le domaine spatial, la connaissance du milieu renvoie prioritairement à deux aspects de la cognition : la cognition environnementale et la cognition spatiale (Depeau, 2006)⁸. Concernant la cognition spatiale, certains auteurs indiquent qu'elle constitue un sous-ensemble de la cognition environnementale (Golledge & Stimson, 1997). Sans prétendre à l'exhaustivité, les quelques définitions présentées ci-après ont pour objectif de définir le terme de cognition spatiale et de rendre compte de la variété de ses acceptions. Comme l'indiquent Péruch & Corazzini (2006, p. 189), « *l'étude de la cognition spatiale trouve ses origines [...] dans la psychologie, [...] dans la géographie de la perception, l'urbanisme et l'architecture* ». Dans le domaine de l'architecture, c'est l'ouvrage de Lynch (1960) intitulé « *The*

⁸ La cognition spatiale concerne les habiletés spatiales qui permettent la connaissance des relations spatiales et leur représentation interne tandis que la cognition environnementale concerne la connaissance d'informations spécifiques sur des espaces liées aux expériences vécues dans le milieu. Etant donné l'objet de cette thèse, seule la cognition spatiale est ici abordée.

image of the city » qui constitue une référence incontournable. Dans son écrit, l'auteur démontre clairement que les images mentales que se font les individus d'une ville diffèrent de leurs propres expériences. En proposant une catégorisation des images mentales basée sur les notions de repères (éléments ponctuels), de voies/chemins et de limites (éléments linéaires permettant de relier les éléments ponctuels et de délimiter une zone), de nœuds (éléments de jonction entre les voies/chemins où se prennent les décisions de directions), de quartiers et de régions (éléments dits surfaciques), les travaux de Lynch (ibidem) ont inspiré l'ensemble des chercheurs en cognition spatiale (géographes, cognitivistes et neuro-cognitivistes) dans l'analyse et la compréhension des images mentales que se constituent les individus d'un espace donné.

Selon Hart & Moore (1971 ; 1973, p. 248), la cognition spatiale est « *la connaissance interne ou cognitive de la structure, des entités et des relations spatiales ; [...] la réflexion intériorisée et la reconstruction de l'espace en pensées* »⁹. La cognition spatiale est donc décrite comme une représentation spatiale de l'environnement, de son contenu et de l'organisation des connaissances spatiales nécessaires à la manipulation et au traitement d'informations spatiales. De même, Péruch & Corazzini (2006, p. 189) indiquent que la cognition spatiale concerne « *cette capacité à combiner l'information spatiale provenant de différentes sources et événements, et à utiliser cette connaissance pour estimer des directions et des distances et gérer des déplacements* ». Barkowsky & Freksa (2003, p. 453¹⁰) insistent, quant à eux, sur le fait que les environnements mobilisés peuvent être de nature différente et décrivent la cognition spatiale comme « *l'acquisition, l'organisation, l'utilisation et la révision des connaissances sur les environnements spatiaux, qu'ils soient réels ou abstraits, humains ou artificiels* ». Osberg (1993) définit, quant à elle, la cognition spatiale comme un processus par lequel l'enfant perçoit, emmagasine, rappelle, édite et communique les images spatiales. De même, Moore & Golledge (1976, traduits et cités par Cauvin, 1999, p. 17) décrivent les concepts sous-tendant le terme de cognition spatiale et rendent ainsi compte de son caractère complexe en indiquant qu'il s'agit de « *la somme des concepts plus spécifiques et des sous-ensembles de sensation, perception, image, souvenir, raisonnement, solution d'un problème, jugement et*

⁹ Traduction libre à partir de Hart & Moore (1973, p. 248), « Spatial cognition is the knowledge and internal or cognitive representation of the structure, entities, and relations of space; [...] the internalized reflection and reconstruction of space in thought ».

¹⁰ Traduction libre à partir de Barkowsky T., Freksa C. (2003, p. 453), « Spatial cognition is concerned with the acquisition, organization, utilization, and revision of knowledge about spatial environments be it real or abstract, human or machine », Barkowsky T., Freksa C., (2003), « Spatial Cognition. Reasoning, Action, Interaction, in Schmalhofer F., Young R., Katz G., Proceedings of EuroCogSci, 03, p. 453-458.

évaluation. Elle inclut les processus variés par lesquels l'information visuelle, linguistique, sémantique et comportementale est sélectionnée, codée, réduite, élaborée, stockée, retransmise, décodée et utilisée ». Enfin, en définissant l'espace en tant qu'objet mais également comme moyen de cognition, Freksa (2004, p. 54) indique que la cognition spatiale concerne également « *les moyens par lesquels les humains, les animaux ou les machines pensent l'espace, la façon dont ils agissent et interagissent dans l'espace, et la façon dont ils peuvent exploiter les structures spatio-temporelles par des processus computationnels* ». L'espace n'est donc plus ici un objet que l'on apprend et que l'on utilise pour agir, il constitue également un moyen pour appréhender et comprendre les processus cognitifs impliqués lors d'activités diverses. C'est en ce sens qu'a été et est toujours considérée la cognition spatiale par les chercheurs en sciences cognitives, notamment. Que les recherches soient menées sur les animaux (rongeurs, chiens...) ou sur des humains (avec ou sans pathologies), un des objectifs principaux poursuivi par les recherches menées en psychologie cognitive, au sens large du terme, est de comprendre comment sont interprétées et organisées en mémoire les informations spatiales pour être réutilisées ultérieurement dans des situations similaires ou nouvelles. Pour cela, un intérêt est porté aux « *représentations [...] et aux traitements de l'information qui permettent de parler de reconstruction de la réalité* » (Depeau, 2006, p. 8). En effet, pour comprendre la manière dont un individu appréhende un espace donné, deux solutions majeures s'offrent au chercheur. D'une part, il peut recourir aux comportements observables d'un individu (i.e. les représentations externes qu'il produit en fonction de ses propres représentations internes) ; d'autre part, il peut se baser sur des données issues de la neurophysiologie.

5.3.1 De la carte cognitive à la représentation externalisée

L'individu peut appréhender et prendre connaissance de son environnement de plusieurs façons (Tellevik, 1992). Liben (1982) différencie trois types de représentations spatiales : les « produits spatiaux », la « mémoire spatiale » et la « pensée spatiale ». Les *produits spatiaux* désignent toutes les productions le plus souvent observables et externes qui mettent en jeu des relations spatiales : des cartes, des dessins, des maquettes... ou encore, pour certains, des descriptions verbales (Pylyshin, 1981). En d'autres termes, il s'agit de représentations symboliques (Golledge, 1999) qui concrétisent l'espace réel. Chez l'enfant, c'est l'acquisition de capacités sensori-motrices et la prise en considération de conventions représentatives qui déterminent l'élaboration plus ou moins aboutie de produits spatiaux. La mémoire

spatiale, deuxième type de représentations spatiales, comprend, quant à elle, la mémoire des lieux, de l'itinéraire et de la configuration qui permet à tout individu de se repérer et de se déplacer dans l'espace de façon optimale. Celle-ci est d'ailleurs directement impliquée dans les modèles d'acquisition et d'utilisation de connaissances spatiales (point 5.3.3). En outre, elle permet à l'individu d'adapter son comportement en fonction des contraintes directes du milieu dans lequel il se trouve et également en fonction des changements passés et futurs qui peuvent se produire. La mémoire spatiale fournit ainsi un mécanisme adaptatif important qui favorise la survie de tout être pensant (Poucet, 2008). La pensée spatiale, troisième type de représentations spatiales, représente toutes les activités mentales de transformations (i.e. visualisation) portant sur des contenus spatiaux. Elle s'avère nécessaire pour intégrer et comprendre les relations spatiales qui unissent les objets dans des formes et des contextes différents. Plus concrètement, alors que le processus d'acquisition de la connaissance spatiale (« cognitive mapping ») s'apparente à la pensée spatiale, la carte mentale qui résulte de ce processus de pensée interne est un produit spatial (Hart et Moore, 1973 ; Liben, 1982, Golledge, 1999).

De nombreuses études concernant l'apprentissage spatial chez l'animal ont été réalisées à partir des années 1930. Par l'utilisation de labyrinthes complexes, Shepard (1933, cité par Gallistel, 2002, p. 317) a, par exemple, permis de découvrir des changements de comportements chez les rats quand ceux-ci avaient exploré l'environnement auparavant (prise en compte de repères pour la définition de nouveaux itinéraires). Sous l'influence des théories behavioristes décrites à partir des principes de conditionnement classiques découverts par Pavlov, les chercheurs considèrent alors que le rat (ou tout autre animal) mémorise une chaîne d'actions automatiques en réaction aux indices présents dans le labyrinthe. Sur le principe de stimulus-réponse, plus connu sous l'acronyme S-R, le rat qui fait face à un indice donné émet alors un comportement donné. Progressivement, de nouvelles expérimentations et hypothèses vont amener les chercheurs à envisager une approche cognitive. Tolman & Honzik (1930) ont mené une expérimentation avec trois groupes de rats. Ils ont placé ces groupes de rats dans des labyrinthes (avec culs-de-sac) et ont observé leurs comportements durant plus d'une quinzaine de jours. Les rats du premier groupe recevaient toujours de la nourriture à la sortie du labyrinthe. Ceux du deuxième groupe n'en recevaient jamais. Les rats du troisième groupe n'en obtenaient pas les dix premiers jours, mais en recevaient dès le onzième jour. Les chercheurs ont remarqué que les rats du premier groupe ont appris à se rendre

rapidement et de façon directe à la sortie du labyrinthe. Les rats du deuxième groupe n'y sont jamais parvenus. Durant l'expérimentation, les rats du troisième groupe se sont comportés différemment selon que de la nourriture était, ou non, mise à leur disposition à la sortie du labyrinthe. Alors que durant les dix premiers jours, ils n'ont suivi aucun itinéraire précis, au onzième jour, ils ont rapidement couru vers la sortie. Dès le douzième jour, les comportements des rats du troisième groupe équivalaient les comportements des rats du premier groupe. Cette expérimentation a permis à Tolman de démontrer l'existence d'un apprentissage latent, c'est-à-dire un apprentissage qui ne se transforme pas directement en un comportement et que le comportement des rats n'était pas toujours conforme aux prédictions fondées sur les principes du conditionnement. Autant dire que cette interprétation n'a pas plu aux chercheurs behavioristes de l'époque... En effet, Tolman soutient le fait que les apprentissages latents ou réalisés par observations ne conduisent pas à des actions directes mais constituent un savoir à propos des comportements et de leurs conséquences. Cette expérimentation permet alors de considérer que les processus cérébraux sont plus compliqués que ne les décrivent les behavioristes. Subséquemment, une hypothèse majeure avancée par Tolman (1948) est l'existence d'une carte cognitive. Les rats du troisième groupe ont construit une carte cognitive qui leur permettait d'atteindre, dès le onzième jour et le douzième jour, le niveau de performance des rats du premier groupe. Il soutient l'idée que le rat construit une représentation interne de son espace (labyrinthe) et l'utilise lors de ses déplacements. La carte cognitive créée mentalement contiendrait alors des informations spatiales relatives aux routes et aux relations environnementales. Ces informations non isomorphes à une carte topographique ou géographique qui pourrait être faite de l'environnement sont, selon Tolman (1948), suffisamment similaires à l'environnement que pour pouvoir servir à des fins de localisation et de navigation. La capacité représentationnelle dont dispose le rat lui fournirait donc des informations relatives à sa position dans le labyrinthe et au chemin qu'il doit suivre pour atteindre sa destination. D'autres chercheurs ont, par la suite, discuté de l'existence de cartes cognitives chez les humains (Péruch *et al.*, 1989 ; Herman *et al.* 1987 ; Gärling, 1990) ainsi que chez d'autres animaux comme les oiseaux (Wallraff, 1974 ; Gould, 1982 ; Wiltschkeiw & Wiltschko, 1987 ; Gallistel, 1993), les insectes (Gould, 1986 ; Gallistel, 1994), les chiens et les chimpanzés (Menzel, 1973 ; Chapuis *et al.*, 1983). Comme le souligne Poucet (2008, p. 2), cette découverte « *a pour conséquence directe qu'il devient possible d'étudier, chez*

l'animal, des processus psychologiques de haut niveau, supposés être l'apanage de l'espèce humaine ».

Les assises théoriques, behavioristes (i.e. Hull, Guthrie) et cognitivistes (i.e. Tolman), relatives à l'acquisition de ces connaissances spatiales ont donné lieu à de multiples débats dans la communauté scientifique (Jensen, 2006) et l'appellation de « carte cognitive » a, quant à elle, aussi été sujette à controverse. Ainsi, Buttenfield (1986, cité par Boumenir, 2011) argumente l'idée qu'« une « carte » n'[est] que le produit de notre façon de penser l'espace, et [peut] de ce fait fournir une mesure topologique externe tout à fait valide pour aider la compréhension de l'environnement, mais ne [peut] en aucun cas être un modèle valide de la représentation interne (mentale) de celui-ci ». Pour Passini (1994), l'élaboration de cartes mentales requiert un processus cognitif, appelé la cartographie cognitive (« cognitive mapping »). Faisant appel aux habiletés spatiales de l'individu, Downs & Stea (1973) définissent la cartographie cognitive comme un processus, composé d'une série de transformations psychologiques, par lequel un individu acquiert, code, emmagasine, se rappelle et décode des informations sur les positions relatives et les attributs de phénomènes dans son environnement spatial quotidien¹¹. Bon nombre d'auteurs (Downs & Stea, 1977 ; Evans, 1980 ; Liben, 1982 ; Kuipers, 1982 ; Gärling *et al.*, 1984 ; Kitchin, 1994 ; Golledge, 1999) se sont ralliés à cette idée en différenciant le processus d'acquisition de la connaissance spatiale (« cartographie cognitive » ou « cognitive mapping ») du produit concret qui en résulte (« cognitive map » ou « carte cognitive »). Malgré les nombreux débats qui ont animé la communauté scientifique et la multitude de travaux de recherche qui a été menée dans le domaine de la cartographie cognitive et des cartes cognitives, la position de Tolman en est restée au stade de l'hypothèse controversée pendant plusieurs années. Comme le mentionne Poucet (2008), « aucun argument expérimental ne permet alors soit de la confirmer soit de l'infirmer définitivement ».

¹¹ Traduction libre de « Cognitive mapping is a process composed of a series of psychological transformations by which an individual acquires, codes, stores, recalls and decodes information about the relative locations and attributes of phenomena in his everyday spatial environment. »

5.3.2 Apports en neuro-cognition : La découverte des « *place cells* » et des « *grid cells* » ou l'histoire d'un prix Nobel

La controverse scientifique engagée sur l'existence de cartes mentales prend fin lorsque O'Keefe & Dostrovsky (1971), O'Keefe & Nadel (1978) et Morris (1981, 1984) rendent compte de leurs découvertes. En utilisant une technique d'électrophysiologie, O'Keefe & Dostrovsky (1971) mènent une expérience avec des rats. Ils implantent un conducteur électrique, nommé électrode, dans l'hippocampe de l'animal et oblige ce dernier à se déplacer sur une surface réduite donnée (24x36 cm) délimitée par un rideau blanc sur trois côtés. En analysant les données enregistrées, les chercheurs révèlent l'existence de « *place cells* » (cellules de lieu ou de placement) qui sont des neurones caractérisés par des décharges rapides, localisées dans l'hippocampe. Lorsque le rongeur explore des endroits étroits, des groupes isolés de cellules pyramidales (aussi nommées « cellules de placement ») localisées dans l'hippocampe se mettent à décharger à un rythme qui n'apparaît que lorsque l'animal se trouve à un certain emplacement dans son environnement, indépendamment de son orientation et de la trajectoire qu'il suit. Ces emplacements portent le nom de « *place field* ». Le développement des « *place field* », et des « *place cells* » qui leur sont associés, joue un rôle vital dans les tâches d'apprentissage spatial. La découverte de ces cellules appuie l'hypothèse cognitiviste de Tolman selon laquelle « *la compréhension du comportement doit tenir compte des processus mentaux et représentations internes qui ont des propriétés spécifiques et séparées* » (Gomez, 2011). La réponse de ces cellules constitue la base de la construction des cartes cognitives modernes (Golledge, 1999 ; Zhu *et al.*, 2013). Dans l'ouvrage de O'Keefe & Nadel (1978), intitulé « *The Hippocampus as a cognitive map* », deux enseignements principaux sont à retirer. D'une part, en se basant sur les découvertes précédentes, les auteurs défendent l'idée que le substrat neuronal de la mémoire spatiale serait constitué par l'hippocampe. En d'autres termes, ils attribuent donc à l'hippocampe du rat, et probablement à celui des hommes, un rôle fondamental de mémorisation de l'information spatiale sous la forme d'une carte cognitive. D'autre part, les auteurs (comme d'autres plus tard, voir par exemple Touresky & Redish, 1996) présentent la diversité des mécanismes d'apprentissage spatial en différenciant les comportements reposant sur l'utilisation de stimulus-réponse (« Taxon System ») des comportements basés sur l'utilisation de représentations de l'environnement (construction de cartes) faisant appel à la mémoire spatiale (« Local System »).

Dépendamment des situations dans lesquelles se trouve le rat (environnement avec plus ou moins de repères spatiaux, expérience(s) antérieure(s) ou non, connaissance du but à atteindre...), ce dernier sélectionne la stratégie spatiale la plus appropriée. Quelques années plus tard, Morris (1981) utilise un labyrinthe aquatique (« water maze Morris ») pour démontrer que l'animal est capable de se construire une représentation et d'utiliser sa mémoire spatiale. Le labyrinthe employé, aussi appelé Piscine de Morris, est un grand bassin cylindrique rempli de liquide opaque dans lequel se trouve, à un emplacement déterminé, une petite plateforme submergée et rendue invisible grâce au liquide opaque. Ce bassin est virtuellement divisé en quadrants. À l'extérieur du bassin sont présentées des informations spatiales (repères le plus souvent visuels). Le rat doit localiser la plateforme et nager jusqu'à elle afin de se reposer et d'y trouver refuge. Les expérimentations réalisées prouvent que les rats localisent la plateforme (qui est toujours située au même endroit) et s'orientent en utilisant les informations environnementales présentées à l'extérieur du bassin (environnement distant). Quel que soit le point de départ du rat, celui-ci variant de quadrant en quadrant au fur et à mesure des essais, le rat parvient à localiser la plateforme, ce qui prouve qu'ils utilisent des repères visuels fournis par l'environnement. Les résultats de ces expérimentations (diminution du temps de latence, augmentation de la vitesse de parcours et réduction du chemin à parcourir) sont autant d'éléments qui permettent de valider l'hypothèse de représentation spatiale de l'environnement défendue par Tolman.

Plus récemment, des chercheurs ont mis à jour l'existence d'autres cellules spécifiques impliquées dans l'orientation spatiale, à savoir les « *head direction cells* » (= les cellules de direction de tête) et les *grids cells* (= « cellules de grilles » ou « de quadrillage »). Complémentaires aux « cellules de lieu », les « cellules d'orientation » (Ranck, 1985 ; Taube *et al.*, 1990) ne sont actives que lorsque la tête de l'animal est orientée dans une direction spécifique, quelle que soit la position du rat. Localisées dans le cortex entorhinal, les « cellules de grilles » jouent, quant à elles, un rôle dans l'élaboration de carte spatiale de l'environnement basée sur le mouvement de l'individu (Moser, Kropff & Moser, 2008). Les « cellules de grilles » ne s'activent pas lorsque le rat passe à un endroit particulier mais à plusieurs endroits, ce qui prouve qu'elles suivent nos trajets en entier. Essentielles pour les recherches à venir en matière d'orientation spatiale et pour ce qu'elles peuvent apporter dans d'autres

domaines d'études, les découvertes réalisées par O'Keefe et les Moser¹² sont complémentaires et ont permis à ces chercheurs de se partager le Prix Nobel de médecine 2014. Ainsi, les cellules logées dans le cortex entorhinal permettent de savoir « vers où » s'oriente notre tête et quelles distances la séparent des limites de l'environnement (par exemple) tandis que les cellules présentes dans l'hippocampe permettent la formation de plusieurs « cartes ». Ces deux types de cellules constituent alors un système de géo-position dans le cerveau permettant la navigation dans un environnement donné et s'apparentent donc à un GPS interne (« inner GPS »).

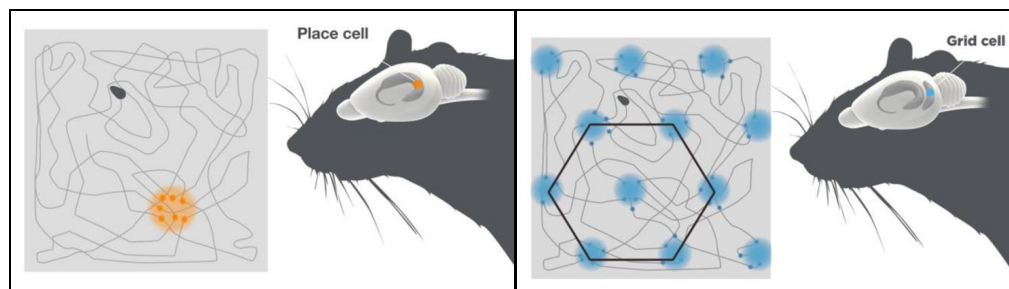


Figure 3.6 - Illustrations graphiques des « place cells » et des « grid cells »
(Society for Science and the Public, 2015)

5.3.3 Les apports des théories constructivistes : modèles d'acquisition et d'utilisation des connaissances spatiales pour la navigation

Comme l'indique Golledge (1999), les hommes interagissent avec les environnements physiques guidés par leurs représentations internes.

Par le passé, certains auteurs, comme Kosslyn (1980), ont décrit la représentation interne comme analogique et bidimensionnelle en ce sens que l'image est une forme spécifique de représentation mentale. Ils parlent alors de carte mentale (« *as a map* »). D'autres auteurs, comme Pylyshin (1981), évoquaient la nature propositionnelle et conceptuelle des représentations en les considérant comme des descriptions verbales. Bien qu'il soit actuellement admis, sur la base de la théorie « Dual coding theory » de Paivio (1986), que les représentations internes sont de nature à la fois analogique et propositionnelle (Paivio, 1991), des précisions sont apportées pour distinguer les différentes représentations internes. Ainsi, comme l'indique Kitchin (1994, cité par Cauvin, 1999, p. 5), « *il existe quatre positions face aux représentations cognitives de*

¹² On peut ici s'interroger sur l'absence de reconnaissance octroyée pour la découverte des *head direction cells*.

l'espace : elles sont explicites, c'est-à-dire qu'elles sont des cartes ; elles sont analogiques, c'est-à-dire qu'elles sont comme des cartes ; elles sont des métaphores, c'est-à-dire qu'elles fonctionnent comme si elles étaient des cartes ; elles sont des constructions hypothétiques et sont en fait une fiction pratique ».

La carte cognitive, à la fois analogique et propositionnelle, est élaborée en fonction de l'exploration de l'environnement. Cette exploration peut se réaliser de différentes manières. Ainsi, Golledge (1999) identifie trois modes d'acquisition de représentation interne. La première consiste en l'exploration et la recherche active suivant des règles et une heuristique donnée. La deuxième concerne l'habitation à des sources d'informations plus symboliques (un plan, une photographie, une vidéo, un schéma, un environnement virtuel...). La troisième implique une expérience dans l'environnement en utilisant des pratiques de navigation contrôlées (intégration du chemin, exploration des limites de l'environnement, exploration et retour sur ses pas...).

Par l'utilisation de cartes cognitives notamment, l'individu parvient donc de façon plus aisée à acquérir les connaissances nécessaires à la navigation. Ces connaissances ont été décrites par plusieurs auteurs et plusieurs taxonomies ont alors vu le jour. Parmi celles-ci, il y a la connaissance des points de repères, des itinéraires et de la configuration.

➤ *Le modèle L-R-S*

La « *représentation mentale d'un environnement réel ou virtuel* » nécessite trois types de connaissances que sont les points de repère, les itinéraires et la configuration (Wickens, 1987).

Reprise des travaux de Siegel & White (1975), la taxonomie des connaissances spatiales a été développée par Thorndyke & Hayes-Roth (1982). Plus connue sous l'acronyme L-R-S, cette taxonomie définit trois types de connaissances inter-reliées essentielles à toute représentation mentale complète d'un environnement donné. Le premier type est la connaissance des points de repère (« landmark knowledge »). Si Vinson (1999) indique que tout objet qui fournit des informations de direction peut constituer un point de repère, d'autres auteurs, tels que Appleyard, 1969, 1970 ; Golledge, 1999 ; Golledge & Spector, 1978 ; Scribante (2000)..., précisent que les points de repères sont des objets perçus et reconnus par un individu étant donné leurs caractéristiques propres (formes, structures et/ou significations socioculturelles) et leur visibilité. Pour Lynch (1960), le point de repère est un objet physique externe qui agit

comme point de référence. Cet auteur indique que la particularité et la signification personnelle d'un objet sont deux raisons complémentaires qui en font un point de repère. Weisman (1981) insiste sur la pertinence d'un repère quand celui-ci ne peut être confondu avec un autre. En outre, Denis (1989) identifie deux types de repères : les repères globaux et les repères locaux. Les repères globaux sont visibles de loin et permettent à l'individu qui y est attentif de s'orienter dans la bonne direction. A l'inverse, les repères locaux ne sont perçus que de près et peuvent permettre à l'individu de rejoindre un lieu donné avec davantage de précision.

Ayant confronté des individus à ces deux types de repères, Steck & Mallot (2000) sont parvenus à démontrer que les individus mémorisent les deux types de repères mais qu'en fonction de préférences individuelles, les individus n'en utilisent -dans la plupart des cas - qu'un type sur les deux.

Globalement, le repère peut être considéré comme un objet qui, de par ses qualités intrinsèques et en tenant compte des caractéristiques extrinsèques définies par un observateur donné, permet d'être différencié de l'environnement dans lequel il se trouve et de servir de point de référence pour accomplir une action donnée dans une situation ou un lieu donné.

En fonction des rôles que les auteurs assignent aux points de repères, ceux-ci peuvent soit avoir une fonction directionnelle et, de fait, constituer des aides à la prise de décision (où tourner ?) (Golledge, 1999), soit avoir une fonction localisatrice (la présence de tel repère indique que je me trouve à tel endroit) qui, au fur et à mesure de l'enrichissement du nombre de repères, permettra d'organiser les caractéristiques spatiales d'un environnement. Dans ce cas, les repères sont considérés comme des points d' « ancrage » (« *anchor points* ») à partir desquels l'individu est capable de reconstituer une partie de l'environnement/d'élaborer une carte mentale plus complète d'une partie de son environnement (Moore & Golledge, 1976 ; Golledge & Spector, 1978, p. 406 ; Allen, 1999). Ce type de connaissance est de nature déclarative et Darken, Allard & Achille (1999) insistent sur son caractère statique. Les points de repères sont identifiés et reconnus par l'individu comme des objets ou lieux existants mais ce dernier ne parvient pas à se déplacer d'un objet ou d'un lieu à un autre étant donné la méconnaissance des chemins qui séparent chacun des points de repères. Pour se rendre d'un endroit à un autre, l'individu doit acquérir un deuxième type de connaissance, celui des itinéraires ou des routes.

Comme l'indiquent Bovy & Stern (1990), la façon la plus universelle de prendre connaissance d'un espace est de voyager à travers lui. L'aspect sensori-moteur se révèle être essentiel. Le processus de déplacement est la navigation et le processus de choix d'un chemin est appelé choix de l'itinéraire ou de la route. Les itinéraires ou les routes sont décrits comme étant une succession ordonnée de points de décision (c'est-à-dire des endroits où l'individu peut ou non changer de direction), reliés entre eux par des portions de chemins au long desquelles se trouvent différents points de repères. Décrite par Golledge (1999) comme des séquences d'actions accomplies lors de la navigation dans un environnement donné (enchaînement de type stimulus-réponse motrice), la connaissance des itinéraires est basée sur une démarche procédurale permettant à l'individu de se rendre d'un endroit à un autre en faisant appel aux connaissances qu'il a acquises en empruntant un chemin au préalable. Cette connaissance procédurale repose donc sur la séquence point de départ - points de repères intermédiaires - point d'arrivée (Appleyard, 1970 ; Thorndyke & Hayes-Roth, 1982 ; Allen, 1987). Selon Darken *et al.* (1999), la connaissance des itinéraires est dépendante de la mémoire visuelle. En effet, en empruntant le chemin permettant de se rendre d'un endroit déterminé à un autre, l'individu doit mémoriser les points de repères (ainsi que leur ordre) jalonnant le chemin parcouru. Ce type de connaissance fait appel à un cadre de référence égocentrique (Chen & Stanney, 2002) ; cela signifie que le codage des informations spatiales (distances et angles) se rapporte à l'individu (importance des informations proprioceptives et vestibulaires). Ainsi, l'évaluation des distances séparant l'objet de l'individu en question se réalise de façon plus efficace que lorsqu'il s'agit d'évaluer la distance séparant deux objets extérieurs à l'individu. Le codage dans un référentiel égocentrique est considéré comme simple puisqu'il ne nécessite aucun changement de référentiel pour mettre à jour les représentations internes de l'environnement. Lors d'un trajet, ce référentiel basé sur la position de l'individu dans l'environnement implique une mise à jour constante des informations intégrées afin de parvenir à destination.

Faisant quant à lui appel à un cadre de référence allocentrique (ou exocentrique), le troisième type de connaissance est celui de la configuration. Le codage des informations spatiales, dans un référentiel allocentrique, s'effectue par rapport à un référentiel arbitraire externe. Ce type de codage permet d'évaluer les distances et de juger des relations relatives entre deux objets extérieurs à l'individu. Le calcul des distances et des angles s'effectue indépendamment de la position de l'individu. Ainsi, il n'est pas nécessaire de réaliser la mise à jour des positions des objets lors de chaque

déplacement réel ou simulé de l'individu. La position des objets ainsi que les distances séparant les objets composant un environnement donné définissent donc la connaissance de la configuration.

➤ *Local Views & Local charts, la construction de la représentation selon Poucet*

Le travail réalisé par Poucet (1993) sur les animaux, lui a permis de décrire un modèle qui met l'accent sur une organisation hiérarchique des étapes nécessaires à la construction de représentations sous forme de cartes. Le modèle suppose que l'analyse des étapes intermédiaires de l'apprentissage spatial par les animaux offre un aperçu des différentes résolutions de problèmes qu'ils utilisent avant d'atteindre un plus haut niveau de compétences et de connaissances spatiales.

Pour l'auteur, deux types d'informations spatiales sont acquises et s'avèrent être importantes pour l'élaboration de cartes cognitives. D'une part, il s'agit des informations topologiques qui servent à la confection de cartes cognitives initiales, plus approximatives (cartes topologiques à l'état brut). Même si les éléments topologiques fournissent des informations et des descriptions approximatives de l'espace, celles-ci sont essentielles pour l'élaboration d'une représentation spatiale d'un lieu (Poucet, 1993 ; Piaget & Inhelder, 1956). D'autre part, il s'agit des informations métriques, acquises lors des déplacements et des activités d'exploration, qui permettent de préciser la carte cognitive initiale. De façon détaillée, Poucet envisage l'élaboration de cartes cognitives en plusieurs étapes. Dépendamment de l'orientation du corps et des systèmes sensori-moteurs de l'être, ce dernier prend connaissance de vues locales de l'environnement (ce qu'il nomme « local views »). On parle alors d'intégration de vues locales, c'est la première étape. Les vues locales sont des perceptions spatiales qui, dès qu'elles sont recueillies, deviennent dépendantes d'une représentation d'un endroit. Ainsi, en s'approchant de l'endroit, il active la représentation qu'il a du lieu (ce qu'il nomme « place representations »). La représentation d'un lieu est donc, d'une part, la collection des vues locales prises de l'environnement à partir d'emplacements spécifiques et, d'autre part, les unités de base des cartes cognitives (Rodrigo, 2002). Il est à noter qu'en fonction de la taille de l'environnement (voir points 3.1 et 4.1) et de sa complexité (i.e. « openfield » ou espace fermé), les vues locales pourront être différentes. Les mouvements réalisés lorsqu'il découvre un environnement lui permettent de se faire une représentation de l'endroit. Cette représentation pourra être (ré-)activée pour identifier l'endroit ultérieurement et ce, quel que soit le point de vue adopté. La deuxième étape consiste à

établir des connexions entre les représentations d'endroits. Étant donné que les relations spatiales entre des endroits distincts, situés à courte distance l'un de l'autre, sont codées en coordonnées polaires comme des vecteurs, c'est sous cette forme que sont encodées les directions et distances de l'endroit actuel par rapport à l'autre endroit connu. La troisième étape consiste en la création de cartes locales (appelées « local charts ») qui précisent la relation existante entre des endroits. Ces cartes locales peuvent contenir un nombre indéfini de représentations d'endroits à la seule condition que ces représentations ont en commun des stimuli, provenant soit de l'espace proche ou distant. L'information spatiale est ici principalement constituée de vecteurs (endroits précis où les directions et distances avec d'autres lieux sont déterminées) et de rapports topologiques (description des rapports spatiaux de l'environnement) se rapportant à un cadre de référence de localisation dépendant d'un certain endroit (« *location - dependant reference frameworks* »). À cette étape, il est possible de rejoindre un lieu à un autre. La quatrième étape est la création d'un système de référence multi-points. Dans ce système, un nombre d'endroits privilégiés constitue les points de référence nécessaires à la détermination des directions et distances auxquelles se trouvent d'autres endroits. Chaque représentation d'endroit dispose d'un système vectoriel propre ; en d'autres termes, pour chaque carte locale est alors définie une direction globale. Lors de la cinquième étape sont ajoutées les informations topologiques. Les cartes locales, ayant au minimum un endroit en commun, sont alors reliées entre elles par des rapports topologiques. La sixième étape consiste en la combinaison des informations vectorielles contenues dans chaque représentation dépendante d'endroits dans une représentation globale non-dépendante des endroits. Les cartes sont alors reliées entre elles pour former une représentation globale de l'environnement. Les explorations successives dans l'environnement global permettent l'apparition d'une direction de référence générale qui sert alors de guide.

Le modèle décrit par Poucet (1993) confirme les découvertes et propos d'autres chercheurs (i.e. Tolman, 1948). Ainsi, d'une part, la carte cognitive, élaborée progressivement et hiérarchiquement, intègre des informations topologiques et métriques et, d'autre part, elle ne peut être une représentation complète et correcte de l'environnement puisque cela dépend des expériences (i.e. de navigation, d'exploration).

5.4 Raisonner spatialement pour appréhender l'espace : quelles habiletés spatiales faut-il exercer ?

Le raisonnement spatial, aussi appelé pensée spatiale, implique, par une activité mentale ou une activité physiquement réalisée, le déplacement et la position d'objets et de soi dans l'espace. Ne reposant ni sur une seule procédure ni sur une seule habileté, le raisonnement spatial fait appel à un nombre considérable de concepts spatiaux, d'outils spatiaux et de processus spatiaux (National Research Council, 2006).

Même si les didacticiens de mathématiques et de géographie ont, comme cela a été présenté ci-avant (points 3. et 4.), des théories propres sur lesquelles reposent leurs objectifs pédagogiques, force est de constater qu'en matière d'espace, les disciplines poursuivent des buts communs. Ainsi, en ce qui concerne, par exemple, la représentation de l'espace par l'enfant ou l'adolescent, le but n'est-il pas commun d'essayer d'améliorer les représentations que l'élève se fait de l'espace qu'il appréhende et dans lequel il évolue ? Le but n'est-il pas commun de tenter de transformer les représentations erronées des élèves ? Qu'il s'agisse de la typologie proposée par Brousseau (1983) ou de celle proposée par Garling & Golledge (1987), n'est-il pas question, en fin de compte, des mêmes espaces ? Certes, les objets d'études peuvent être différents mais les mécanismes ou les processus cognitifs ou encore les habiletés spatiales impliqués dans les exercices spatiaux, sont relativement proches voire les mêmes quelle que soit la discipline envisagée (mathématiques, géographie, architecture, éducation physique, sciences...). Le choix a ici été fait d'abandonner les frontières disciplinaires pour appréhender les concepts-clés dans leur globalité et leur redonner un sens commun ; les habiletés seront donc définies indépendamment des contextes dans lesquels elles peuvent être habituellement utilisées.

Les termes de « visualisation », « orientation », « représentation » ... sont, dans la littérature, considérés comme des habiletés spatiales (Lorenz & Neisser, 1986 ; Kaufman, 2007 ; Münzer & Hölscher, 2011). Si Darken & Sibert (1996) considèrent que l'habileté spatiale est un « *processus cognitif qui exprime comment on apprend un environnement et les relations entre les objets* », Lohman (1996, p. 98, trad. libre) indique que la capacité spatiale peut être définie comme « *la capacité à générer, conserver, récupérer et transformer des images visuelles bien structurées* ». Si chacune de ces habiletés peut être définie en des termes propres, elles entretiennent toutes des relations importantes entre elles. La lecture des définitions proposées, ci-

après, permet d'apprécier ces relations (i.e. orientation spatiale et navigation spatiale ; visualisation spatiale et rotation spatiale...).

Alors que, comme l'indiquent Hegarty & Waller (2004), la littérature psychométrique ne différencie pas de manière stricte les exercices proposés en fonction des habiletés sollicitées, le champ de la psychologie cognitive expérimentale distingue les exercices de transformations spatiales d'objets des exercices de transformations spatiales dans lesquels s'applique un changement de référentiel (Wang & Simons, 1999 ; Wraga, Creem & Proffitt, 2000 ; Zacks, Mires, Tversky & Hazeltine, 2000). Ainsi, l'orientation spatiale, la visualisation spatiale, la rotation mentale et la navigation spatiale peuvent être différenciées en ce sens.

5.4.1 Orientation spatiale

Les compétences relatives à l'orientation spatiale se rapportent aux capacités dont dispose l'individu à analyser et à comprendre des relations entre des objets visuellement perçus et sa capacité à rester orienté après un changement de position de son corps propre ou des objets présents dans l'environnement (Barisnikov & Pizzo, 2013). Dans le même ordre d'idée, Darken *et al.*, (1999), Satalich (1995) et McGee (1979) définissent l'orientation spatiale comme la capacité d'un individu à déterminer sa position, la relation qu'il entretient avec les autres objets dans un espace donné et à imaginer l'apparence d'objets en fonction de différentes perspectives. Arthur & Passini (1992) ajouteront qu'un individu est bien orienté s'il dispose d'une carte cognitive de l'espace donné lui permettant de s'y situer. Si l'orientation spatiale implique un changement du cadre de référence égocentrique (en ce sens que l'individu appréhende l'espace selon une autre perspective), le cadre de référence entre l'objet et l'environnement reste, quant à lui, identique (Hegarty & Waller, 2004).

5.4.2 Visualisation spatiale

L'habileté « visualisation spatiale » correspond à la capacité qu'a l'individu de se représenter les informations spatiales non verbales, d'analyser les relations entre les objets d'une configuration et de les manipuler mentalement (Marchand, 2006 ; Eme, 2003 ; Loranger, Pépin, Côté, Boisvert & Blais, 2000). À cela, d'autres auteurs ajoutent que cette habileté conduit à anticiper l'apparence d'objets complexes (Lohman & Snow 1979 ; Hegarty & Waller, 2004). Plus récemment, Barisnikov & Pizzo (2013) précisent que la visualisation spatiale conduit à effectuer des opérations

mentales (rotations, transformations ou manipulations) sur des objets en deux dimensions ou trois dimensions lorsqu'ils sont visuellement perçus. Contrairement à l'habileté « orientation spatiale », cette habileté n'implique donc pas de changement du cadre de référence. Même si cette habileté est considérée par la plupart des auteurs comme une « capacité » ou une « aptitude », Andrieux (1956) attire l'attention sur le fait que la visualisation spatiale résulte également d'un apprentissage et des attitudes du sujet.

5.4.3 Rotation mentale spatiale

Parfois considérée comme faisant partie de la capacité de visualisation, la rotation mentale est définie comme une « *opération cognitive au cours de laquelle une image mentale est formée et tournée dans une orientation différente dans l'espace. Ce processus nécessite souvent la manipulation cognitive et la transformation spatiale d'un objet en deux dimensions ou en trois dimensions* » (Guillot, Hoyek & Collet, 2012, p. 2222¹³).

Les rotations mentales ont d'abord été étudiées par Shepard & Metzler (1971). Le matériel utilisé est composé d'objets abstraits en trois dimensions présentés par paires selon des points de vue différents (Figure 3.7). Pour chacune des paires présentées, les individus devaient dire si les objets étaient identiques ou non (pas de différence concernant les détails de l'objet, seule des différences d'orientation étaient à observer), indépendamment de leur orientation. Les résultats de cette étude ont permis de remarquer que le temps mis par les individus pour effectuer la tâche de discrimination augmentait lorsque la différence angulaire d'orientation des deux objets présentés s'accroissait. Cette expérimentation a donc conduit Shepard & Metzler à considérer le processus de rotation mentale comme une simulation de la rotation physique.

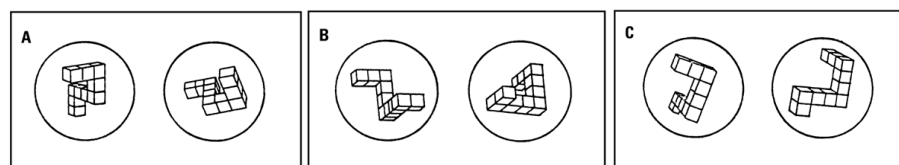


Figure 3.7 - Exemple d'items utilisés par Shepard & Metzler (1971)

¹³ Trad. libre de « Mental rotation is a cognitive operation during which a mental image is formed and rotated into a different orientation in space. Such process usually requires cognitive manipulation and spatial transformation of a two-dimensional or three-dimensional object. »

D'autres expérimentations de même type ont ensuite été réalisées. Il ne s'agissait, par exemple, plus d'effectuer des rotations mentales sur des objets abstraits et inconnus mais sur des symboles et des lettres (Cooper & Shepard, 1973).

5.4.4 Décentration

Cette capacité à se décentrer a été étudiée pour la première fois par Meyer (1935). Les résultats de l'expérience dite des « trois montagnes » ont été repris plus tard par Piaget & Inhelder (1948, cité par Mounoud, 2004). L'objectif de cette expérience était d'étudier les capacités des enfants âgés de quatre à onze ans à différencier le point de vue d'autrui du leur (positions relatives d'objets, localisation d'observateurs). Cette différenciation inter-sujets a été mise à l'épreuve par la présentation d'une maquette tridimensionnelle, constituée de trois montagnes possédant des caractéristiques propres. Au premier plan, sur la droite de l'enfant est disposée une petite montagne verte surmontée d'une maison, sur sa gauche se trouve une montagne brune de taille moyenne au sommet de laquelle se trouve une croix et, à l'arrière-plan, l'enfant peut observer une montagne grise au sommet enneigé. Une série de dix tableaux, représentant le massif montagneux selon différentes perspectives, fait aussi partie du matériel utilisé pour l'expérience. Cette dernière se base sur trois techniques différentes où l'enfant est l'observateur principal tandis qu'une poupée est utilisée pour simuler un observateur extérieur. Pour la première technique, l'enfant doit visionner un des tableaux proposés et placer la poupée à l'endroit opportun pour que le point de vue de celle-ci corresponde au tableau visionné. La deuxième technique employée consiste à demander à l'enfant de choisir, parmi les tableaux proposés, celui qui correspond à la photographie que la poupée aurait pu prendre étant donné sa position sur la maquette (positionnement de la poupée par l'évaluateur). Enfin, la troisième technique consiste à demander à l'enfant d'employer des cartons découpés ayant la forme et la couleur des montagnes présentées sur la maquette, afin de construire une configuration correspondant à la photographie que la poupée pourrait prendre, sachant que celle-ci est positionnée sur la maquette par l'évaluateur. (Figure 3.8)

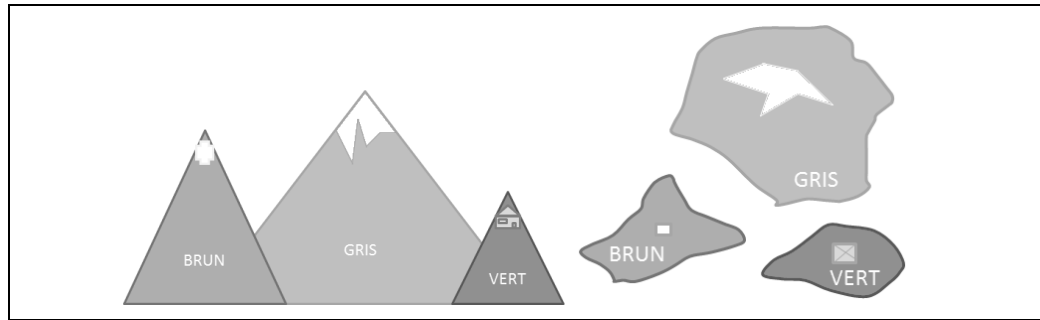


Figure 3.8 - Matériel utilisé par Meyer (1935) et Piaget & Inhelder (1948) pour réaliser l'expérience des trois montagnes

D'après Meyer (1935), il existe quatre niveaux permettant de caractériser l'évolution des conduites des enfants évalués.

- Entre 4 et 6 ans, quel que soit le tableau présenté, les enfants ne sont pas capables d'envisager un emplacement différent de la poupée.
- Entre 7 et 8 ans, les enfants ne parviennent pas à mettre en relation les trois montagnes et considèrent alors celles-ci comme un tout non séparable.
- Entre 8 et 9 ans, les enfants prennent conscience que le massif montagneux est composé d'éléments indépendants (tout séparable) mais une seule relation entre ces montagnes domine (Figure 3.8).
- A 10 ans, il apparaît que les enfants savent, *a priori*, qu'un seul emplacement de la poupée peut engendrer un point de vue particulier. Ainsi, les enfants parviennent à coordonner les différentes relations qui unissent les éléments présentés.

En se basant sur les résultats de cette expérience, Piaget et Inhelder (1948) ont déterminé quatre étapes caractérisant l'évolution des enfants.

- A 5-6 ans, les enfants indifférencient totalement les points de vue (l'enfant exprime sa propre perspective, il fait preuve d'égoïsme).
- Vers 7 ans, les enfants prennent conscience du fait qu'un point de vue correspond à une seule position (et que l'on ne voit pas la même chose de partout). Seuls sont transformés les rapports entre l'observateur et le massif montagneux (ce dernier continue d'être considéré comme un tout invariable).
- Vers 8 ans, les enfants remarquent, qu'en fonction de la position de l'observateur, les relations entre les trois montagnes changent. A cet âge, les enfants ne parviennent pas encore à coordonner tous les points de vue.

- Vers 9-10 ans, les enfants parviennent à coordonner l'ensemble des points de vue.

L'expérience des trois montagnes a notamment été revisitée par Laurendeau & Pinard (1968). Utilisant un matériel schématisé sur un échantillon de 450 enfants âgés de 4 à 12 ans, l'épreuve, telle que réalisée par ces auteurs, comporte deux parties correspondantes à deux techniques piagésiennes (choix de la photographie qui représente la position de la poupée dans le massif montagneux et placement de la poupée à l'endroit correspondant à la perspective illustrée par les photographies). Les résultats obtenus par ces auteurs sont relativement similaires à ceux obtenus par Piaget & Inhelder (1948). Ainsi, il a été confirmé que les taux de réussite augmentent en fonction de l'âge, que les difficultés concernent davantage les notions de « gauche/droite » que les notions de « devant/derrière ». Les conclusions auxquelles parviennent Laurendeau & Pinard (1968) s'apparentent à la construction de la notion d'égoцентризм/décentration sous la forme des stades proposés par les auteurs genevois.

5.4.5 La rotation mentale comme un changement de perspectives ?

Même si les processus mentaux impliqués dans la rotation mentale et le changement de perspectives sont, d'une certaine manière, similaires (Cooper & Shepard, 1973), Just et Carpenter (1985) différencient ces deux habiletés (rotation et changement de point de vue) en deux points. D'une part, la rotation mentale s'applique aux petits objets pouvant être bougés de place alors que le changement de point de vue s'applique plutôt à des objets stables et de grande taille (comme les immeubles d'une rue, par exemple). D'autre part, la rotation mentale implique une manipulation mentalisée d'un objet avec la main alors que le changement de perspectives implique une simulation de déplacement du corps de l'individu. En d'autres termes, la rotation mentale implique donc une rotation simulée d'objets de petites tailles placés devant l'observateur alors que le changement de perspectives s'apparente plutôt à un déplacement simulé du corps de l'observateur dans un environnement donné. Selon Lambrey (2005, p. 91), le processus sous-jacent au changement de perspectives *« semble être un processus de réactualisation des positions dans un référentiel égoцентризм (i.e. centré sur l'observateur) en fonction des ré-afférences de mouvement »*. Les deux habiletés spatiales sont sollicitées lors des exercices de navigation. Ainsi,

Malinowski (2001) a montré une corrélation entre les habiletés spatiales « rotation mentale » et « navigation spatiale » dans un environnement à large échelle.

5.4.6 Mémorisation spatiale & modèles mémoriels

Avant de définir plus en détails l'habileté spatiale « mémorisation spatiale », il s'avère opportun de présenter des modèles mémoriels permettant de mieux comprendre comment sont organisées et stockées les informations en mémoire. Deux modèles principaux sont ici décrits : le modèle d'Atkinson & Schiffin (1968) et le modèle de Baddeley & Hitch (1974). Ce dernier modèle est complété par le modèle de Tulving (1995) et la théorie de Versace, Nevers & Padovan (2002).

➤ *Le modèle d'Atkinson & Shiffrin*

Les premiers à avoir proposé une modélisation de la mémoire sont Atkinson et Shiffrin (1968). Le modèle modal qu'ils décrivent est sériel (Figure 3.9). D'abord, une grande quantité d'informations sensorielles (stimuli sensoriels), captée par le système de traitement de l'information, est stockée dans un registre sensoriel. Par la suite, un nombre limité de ces informations sélectionnées par l'attention est acheminé dans le registre de stockage à court terme pendant quelques secondes. Par répétition mentale et en fonction du temps de stockage de l'information dans l'unité de stockage à court terme, l'information est ensuite placée dans l'unité de stockage à long terme. Les recherches menées en neuropsychologie ont permis d'affirmer l'existence de différents registres mnésiques (registre sensoriel, espace de stockage à court terme et long terme) mais ont infirmé le caractère sériel du modèle (Shallice & Warrington, 1970).

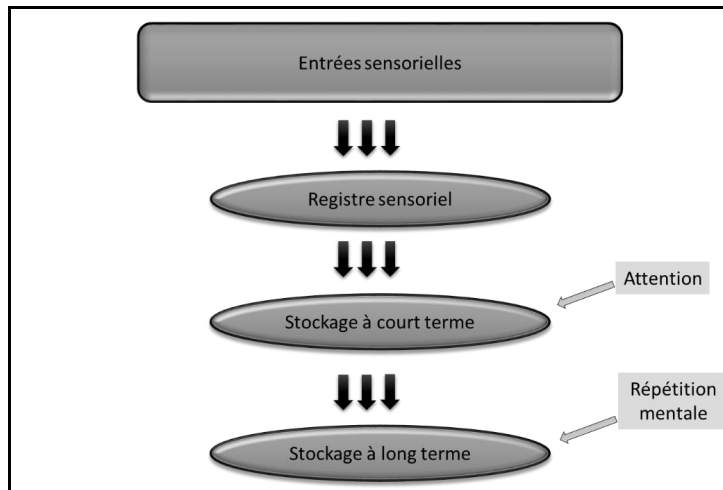


Figure 3.9 – Représentation du modèle mémoriel d'Atkinson & Shiffrin (1968)

➤ *Le modèle de Baddeley*

Étant donné les limites du modèle d'Atkinson & Shiffrin (1968), Baddeley & Hitch (1974) et Hitch & Baddeley (1976) mènent de nouvelles réflexions et proposent de remplacer l'unité de stockage à court terme par la mémoire de travail, une architecture plus complexe et plus dynamique. Définie par Baddeley (1986) comme un « *système de maintien temporaire et de manipulation de l'information, nécessaire pour réaliser des activités cognitives complexes* », la mémoire de travail permet donc de maintenir, pour un temps limité, une quantité limitée d'informations visuelles et/ou auditives pouvant ou non être manipulée. Dans sa forme actuelle, le modèle comprend quatre composantes : l'administrateur central, la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et le buffer épisodique.

L'administrateur central coordonne et supervise trois systèmes esclaves nommés « boucle phonologique » (responsable du traitement des informations auditives) et « calepin visuo-spatial » (responsable du traitement des informations visuelles) via un « espace de traitement » qui en assure la cohérence (Gaonac'h & Larigauderie, 2000). Il assure aussi un lien avec la mémoire à long terme où sont stockées les représentations sémantiques du sujet, indispensables à la réalisation de la tâche en cours. La boucle phonologique est destinée au stockage temporaire (maintien et répétition) de l'information verbale. Deux sous-composantes y sont distinguées : le

stock phonologique et le processus de récapitulation articulatoire. Le calepin visuo-spatial a pour rôle le stockage, à court terme des informations visuo-spatiales et, est impliqué dans la génération et la manipulation des images mentales. Logie & Pearson (1997) divise le calepin visuo-spatial en deux parties : l'« inner scribe » et le « visual cache », chacune responsable d'un type d'information privilégié (spatial et visuel respectivement). Le buffer épisodique intègre, quant à lui, des informations venues de la mémoire à long terme avec les composants de la mémoire de travail (calepin visuo-spatial et boucle phonologique). Alors que le calepin visuo-spatial traite les informations visuelles, la boucle phonologique s'occupe quant à elle des informations verbales. Selon Baddeley, cette composante permet de relier différentes sources d'informations (Baddeley, Allen et Hitch, 2011).

Au sujet de la mémoire à long terme, Tulving (1972) distingue, dans un premier temps, la mémoire épisodique (comprenant des événements personnellement vécus inscrits dans un contexte spatial et temporel définis) de la mémoire sémantique (comprenant des concepts et des faits généraux définis en dehors de tout contexte d'encodage). Il propose ensuite une modélisation hiérarchique, aussi appelée modélisation par « emboîtement » (Eustache, Lechevalier & Viader, 1996), de trois systèmes mémoriels : la mémoire épisodique devient un sous-système spécialisé de la mémoire sémantique qui devient, elle-même à son tour, un sous-système spécialisé de la mémoire procédurale (appel à des méthodes automatiques pour réaliser une action). Comme l'indiquent Desgranges & Eustache (2011, p. 96), cette organisation « *exclut la possibilité de doubles dissociations, les systèmes de haut niveau dans la hiérarchie se situant dans une relation de dépendance par rapport aux systèmes de plus bas niveau* ». En regard à chacun des systèmes mémoriels, le modèle inclut également trois formes de conscience. La mémoire procédurale est associée à la conscience anoétique (puisque'il y a sollicitation d'une procédure automatique dans l'action) alors que la mémoire sémantique dépend de la conscience noétique (puisque'il y a évocation de représentations non perceptives), la mémoire épisodique est, quant à elle, associée à la conscience auto-noétique (Lechevalier, Eustache & Viader, 2008).

Plus tard, Tulving (1995) propose un modèle de mémoire pour « *dépasser certaines rigidités des conceptions monohiérarchiques antérieures* » (Desgranges & Eustache, 2011, p. 99). Ce modèle est fondé sur des systèmes organisés de manière hiérarchique et dépendant les uns des autres. Aux trois systèmes mémoriels précédemment décrits sont intégrés deux autres systèmes de mémoire : le système de représentations perceptives et la mémoire à court terme (mémoire de travail définie par Baddeley). Défini sous l'acronyme SPI, le modèle est à la fois Sériel (l'encodage comporte une dimension sérielle en ce sens que la qualité de l'information retenue dépend de la qualité de l'encodage dans le système inférieur), Parallèle (puisque'une information peut être stockée de façon parallèle dans différents registres) et Indépendant (étant donné que la récupération de l'information s'effectue de façon indépendante des autres systèmes). Structuré, le modèle SPI a pour objectif de représenter l'organisation et les relations entre les systèmes.

Dans leur article intitulé « *MNESIS : towards the integration of current multisystem models of memory* », Eustache & Desgranges (2008) présentent un modèle intégrateur nommé « MNESIS ». En insistant sur les relations unissant les cinq systèmes de mémoire et en intégrant, entre autres, les propos de Tulving (1985) et de Baddeley (1986), ce modèle rend compte des caractères dynamique et restructif de la mémoire chez l'homme (Figure 3.10).

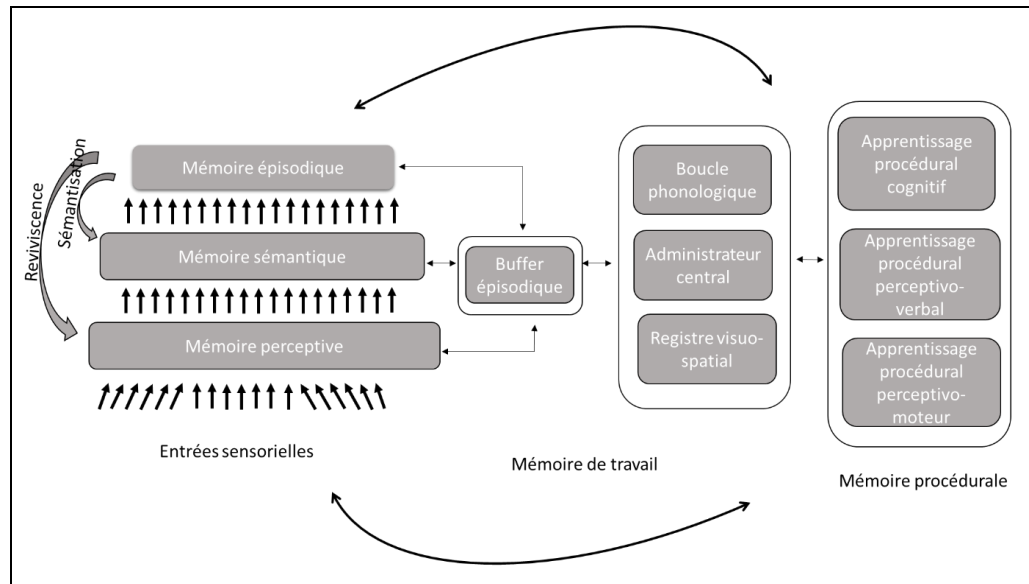


Figure 3.10 – Modèle MNESIS proposé par Desgranges & Eustache (2011)

Contestant les modèles de systèmes multiples proposés, Versace, Nevers & Padovan (2002) ont proposé une théorie unifiée de la mémoire. Celle-ci est basée sur le fait que chacune des actions réalisées par l'individu laisse une trace mémorielle. La multiplication des actions entraîne *de facto* une accumulation de traces dans différents contextes et dans différents registres sensoriels qui conduit à « *une certaine abstraction, c'est-à-dire une représentation des invariants de l'espace* » (Lafon, 2008, p. 26).

Si les théories et modèles décrivant la mémoire sont largement documentés dans la littérature depuis la fin des années 60' et que certains d'entre eux sont particulièrement utilisés dans les recherches en psychologie, les recherches sur la mémoire (au sens large) font toujours l'objet d'un grand intérêt de la part des scientifiques qui cherchent à compléter les modèles existants ou à en proposer d'autres. Les définitions de l'habileté « mémorisation spatiale » rendent également compte des différences existantes entre les modèles et théories décrits ci-avant. Ainsi, en 1994, Passini définit la mémorisation spatiale comme la capacité qu'a un individu d'encoder et de retenir les informations visuelles qui permettent, par exemple, de se souvenir du chemin emprunté, de la configuration d'un lieu, de l'agencement des objets dans un espace. Se nourrissant des modèles plus récemment proposés par les chercheurs, Poucet & Save (2009) ne limitent pas la mémorisation spatiale aux informations visuelles et stipulent que la mémoire spatiale permet l'organisation et le stockage d'informations spatiales

sélectionnées lors de l'exploration de l'environnement (configurations de repères, trajets effectués entre différents lieux...).

5.4.7 Navigation spatiale

De tout temps et dès les premiers mois de sa vie, l'homme est amené à naviguer dans l'environnement dans lequel il se trouve. La réalisation de ces déplacements nécessite de connaître son point de départ et son point d'arrivée, de choisir l'itinéraire à suivre pour atteindre le point d'arrivée et d'effectivement suivre cet itinéraire. Pick, Rieser, Wagner & Garing (1999) définissent la navigation spatiale comme la capacité qu'a un individu à se localiser et se déplacer dans un espace donné en se basant sur la perception et la compréhension de l'organisation spatiale, à localiser un but par rapport à sa position propre, à estimer des distances, des rotations et l'orientation par rapport à un point de départ et/ou d'arrivée. Dans un environnement donné, naviguer spatialement signifie notamment être capable de reconnaître des lieux et des scènes que l'on peut appréhender selon des perspectives différentes, dans des situations et des conditions pouvant varier (jour/nuit, été/hiver).

➤ *Stratégies de navigation*

Pour naviguer dans un environnement, plusieurs stratégies de navigation peuvent être employées par l'individu et, dépendant de la complexité du problème spatial à résoudre, ce dernier utilisera une stratégie plus ou moins élaborée (Arleo & Rondi-Reig, 2007). Les processus mnésiques détaillés dans le point précédent (cf. Modèles mémoriels & mémorisation spatiale) permettent la mise en œuvre d'une stratégie de navigation spécifique en fonction du but à atteindre. Alors que, comme cela a été présenté précédemment, les théoriciens behavioristes furent les premiers à identifier une des stratégies de navigation en se basant sur l'association « stimulus-réponse », d'autres théoriciens (Mallot, 1999 ; Wang & Spelke, 2002) ont proposé des stratégies différentes axées sur les relations spatiales et temporelles unissant divers éléments de l'environnement. En se basant sur le modèle L-R-S proposé par Siegel & White (1975), Trullier, Wiener, Berthoz & Meyer (1997) détaillent une hiérarchie de quatre niveaux de stratégies de navigation tout en identifiant un pré-requis : celui d'être capable d'approcher la cible. Reposant sur un cadre de référence égocentrique, les deux premiers niveaux sont nommés : « stratégie de guidance » et « stratégie de réponse » (ou « guidance » et « *place recognition - triggered response* » pour reprendre les termes anglophones proposés par les auteurs). Pour le premier niveau,

correspondant à la première stratégie, l'individu est amené à se déplacer sur la base de ses propres perceptions (comparaison de l'information sensorielle perçue et mémorisée par rapport au but à atteindre). Pour le deuxième niveau, l'individu déclenche une association de type « stimulus-réponse » en fonction d'un repère préalablement rencontré et identifié. Ainsi, après avoir repéré un bâtiment, l'individu se souvient qu'il doit effectuer un tournant à droite (composante motrice) pour arriver à destination. À ce niveau, l'individu ne se représente pas mentalement son itinéraire et ne parvient pas à le planifier. Les troisième et quatrième niveaux sont nommés « stratégie de route » et « stratégie de carte » (ou « topological navigation » et « metric navigation »). En étant capable de stocker l'association « *stimulus-réponse-stimulus* », la troisième stratégie permet à l'individu de se déplacer le long de chemins connus. Cette stratégie de route, décrite par Redish (1999) comme une séquence de stratégies d'approches et de réponses associées, repose sur des mécanismes mnésiques de natures différentes à savoir, des processus mnésiques procéduraux et déclaratifs. La quatrième stratégie (« *stratégie de carte* ») repose, quant à elle, sur des processus en lien avec la mémoire déclarative (aussi nommée « mémoire relationnelle »). Cette stratégie prend appui sur l'élaboration d'une représentation mentale de l'environnement et nécessite la mise en relation et l'encodage des éléments de l'espace entre eux. L'individu se déplace ainsi en fonction de la connaissance qu'il a acquise à propos de tout l'environnement (Meilinger, 2008). Dans ce dernier cas, l'individu est, par exemple, capable d'effectuer des déplacements en empruntant de nouvelles voies ou en réalisant des raccourcis.

Arleo & Rondi-Reig (2007) se sont intéressés à la flexibilité cognitive relative aux stratégies de navigation. Chacune d'entre elles est caractérisée par sa flexibilité, « *c'est-à-dire sa disposition à pouvoir être utilisé[e] lorsque les conditions environnementales changent* » (Burguière, 2006, p. 24).

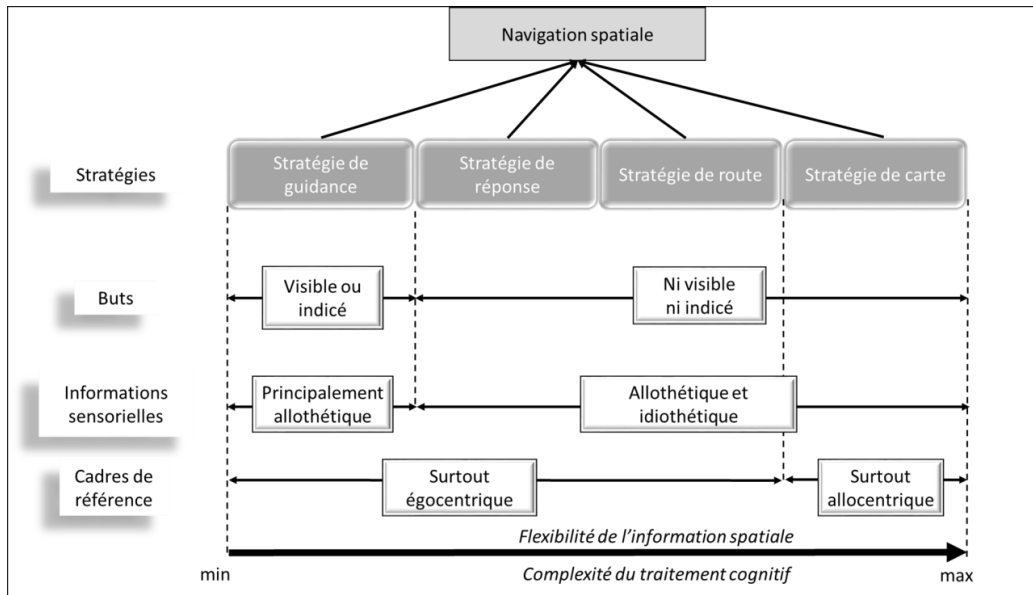


Figure 3.11 - Illustration de la taxonomie proposée par Arleo & Rondi-Reig (2007) décrivant les stratégies de navigation spatiale en regard de la flexibilité de l'information spatiale et de la complexité du traitement cognitif

En parcourant la Figure 3.11, on peut remarquer que la flexibilité de la « *stratégie de guidance* » est faible et que celle-ci deviendra peu efficace si les conditions expérimentales sont modifiées. *A contrario*, la stratégie de « route » et, mieux encore, celle de « carte » sont caractérisées par une plus forte flexibilité étant donné qu'une fois que les informations spatiales sont encodées, celles-ci permettent à l'individu d'optimiser ses performances en matière de navigation spatiale.

À côté de ces stratégies de navigation déclaratives et procédurales, d'autres auteurs (Lambrey & Berthoz, 2003 ; Lafon, Vidal & Berthoz, 2009) ont mis en évidence l'existence de stratégies kinesthésiques basées sur la perception de l'environnement extérieur et sur l'utilisation d'informations proprioceptives et somato-kinesthésiques. La perception visuelle du mouvement occupe ici une place importante puisqu'elle permet de prendre connaissance d'un environnement tout en considérant les déplacements qui se reproduisent dans l'espace.

➤ *La navigation spatiale dans un environnement virtuel*

Fondée sur les Sciences de l'Ingénieur (Informatique graphique, calcul en temps réel, génie logiciel, robotique...), la réalité virtuelle permet la présentation, dans un contexte défini, de stimuli sélectionnés (Burdea & Coiffet, 1993 ; Fuchs & Moreau, 2003). La réalité virtuelle, par son caractère modulable, permet ainsi, par exemple, la

création d'environnements (une ville, par exemple) plus ou moins enrichis de stimuli de formes variées (bâtiments, véhicules, piétons).

En prenant également appui sur le domaine des Sciences humaines, Klinger (2008) indique que l'utilisation de la réalité virtuelle permet d'explorer, de façon simultanée, les dimensions comportementales, cognitives et motrices d'un individu. Dans de nombreux domaines, dont celui de la cognition spatiale, en lien avec l'habileté « navigation spatiale », l'utilisation d'environnements virtuels comme simulateur a montré son efficacité et son potentiel dans l'apprentissage de compétences diverses et dans l'analyse du fonctionnement cognitif et comportemental des individus (Klinger, Marie & Fuchs, 2006). D'un point de vue technique, la réalité virtuelle peut être définie comme étant un « *domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs* » (Fuchs, Arnaldi & Tisseau, 2003, cités par Arnaldi, Fuchs & Guitton, 2006, p. 8). Créés pour permettre l'accomplissement d'actions déterminées dans un espace donné, les environnements virtuels requièrent l'utilisation d'interfaces homme-machine (IHM). En effet, en réalité virtuelle, l'interaction entre l'homme et l'ordinateur est un élément déterminant assuré par différentes interfaces basées sur l'utilisation des canaux sensoriels et moteurs de l'individu. Ce dernier qui est confronté à un environnement virtuel peut ainsi extraire des informations issues de l'environnement simulé (via la vue, l'ouïe, voire même l'odorat ou le toucher) et/ou interagir, produire des actions, avec celui-ci (Cherni, 2012). À ce sujet, Fuchs & Moreau (2003) parlent de deux types d'interfaces comportementales : les interfaces sensorielles et les interfaces motrices. Klinger *et al.* (2006) précisent que l'individu qui perçoit, grâce à ses sens, des stimuli émis par les interfaces sensorielles, agit sur l'environnement virtuel par le biais d'actions qu'il exécute via des interfaces motrices. Les actions réalisées par l'individu sont alors transmises à l'ordinateur, qui, en réponse, modifie l'environnement. Les interfaces visent donc des modalités sensorielles particulières et c'est la qualité ainsi que le degré de couverture sensorielle offerts à l'utilisateur qui renforcent ou non le caractère immersif du dispositif (Mellet-d'Huart & Michel, 2006). Afin de garantir une fluidité et une réelle interaction entre l'homme et le dispositif informatique, il est important que les temps de réaction de la machine soient similaires au temps d'actualisation de l'environnement réel correspondant (Grumbach & Klinger, 2007).

Comme cela a été largement démontré, les questionnements relatifs à l'apprentissage spatial, au développement du sens spatial, à l'orientation... ne sont pas récents (Piaget & Inhelder, 1948). Cependant, depuis l'avènement de nouvelles technologies telle que la réalité virtuelle, les recherches en cognition spatiale se sont multipliées (i.e. Jansen-Osmann & Berendt, 2002 ; Wallet, Sauzéon, Rodrigues & N'Kaoua, 2009 ; Farran, Courbois, Van Herwegen, Cruickshank & Blades, 2012 ; Wallet, Sauzéon, Larrue & N'Kaoua, 2013). Alors qu'il n'est pas possible d'exercer un contrôle précis sur toutes les variables d'un environnement réel, ni même d'y effectuer toutes les manipulations nécessaires afin de répondre aux questions liées à une habileté spatiale particulière, cela est devenu réalisable grâce à la réalité virtuelle (Kelly & Gibson, 2007). Le recours à la réalité virtuelle permet aussi la réalisation des activités dans des conditions sécuritaires. Ainsi, dans le cas des expérimentations menées ici, les participants ont évolués dans des environnements urbains sans risque et dont les conditions d'expérimentation sont strictement identiques et ne varient pas en fonction de l'expérimentateur ou de divers aléas. L'utilisation de la réalité virtuelle permet donc de répliquer une étude sur un grand nombre de sujets sans que cela n'introduise de biais dans les résultats (Peters, Wu & Winter, 2010). En outre, la réalité virtuelle permet de capturer, en temps réel, l'activité et la performance de l'individu selon des composantes comportementales, cognitives, motrices et/ou physiologiques (Klinger, 2008). La majeure partie des actions effectuées par le sujet peut ainsi être quantifiée de manière simultanée, précise et naturelle, sans que le sujet en ait conscience. Les environnements virtuels apparaissent donc comme des outils d'évaluation utiles permettant d'étudier les comportements et la cognition dans le domaine de l'apprentissage spatial (Kelly & Gibson, 2007).

5.4.8 Représentation spatiale

Dès le plus jeune âge de l'enfant, l'espace sensible et l'espace représenté entretiennent des rapports mutuels importants. Comme l'indique Pêcheux, 1990 (p. 21), « *Piaget et Inhelder ont montré que l'espace représenté, loin d'être une simple copie du réel, se construit lentement, sous la dépendance des capacités opératoires, et que tous les acquis sur le plan perceptif, avant l'accès à la fonction symbolique, sont à reconquérir sur le plan représentatif. Dans cette perspective, la représentation a un statut intermédiaire : comme la perception, elle est un mécanisme figuratif ; mais elle se distingue de la perception en ce qu'elle est « une imitation intériorisée, qui procède de la motricité et aboutit à une figuration calquée sur les données sensibles » (Piaget &*

Inhelder, 1948, p. 30) ». Alors que la perception est propre à chaque individu et nécessite un contact sensoriel direct avec les objets présents, la représentation est une « *création sociale ou individuelle de schémas pertinents du réel* » et renvoie à l'évocation des mêmes contenus en leur absence (Piaget & Inhelder, 1972, p. 28). Dans le même sens, Marchand (2006, p. 107) indique que l'image mentale est « *une représentation mentale d'objets ou d'évènements qui ne sont pas physiquement présents* ». Quelle que soit l'activité (spatiale) à réaliser, le fait de parvenir à se représenter des aspects spatiaux permet une plus grande maîtrise de l'espace étant donné que le traitement des caractéristiques spatiales peut s'effectuer en dehors de toute perception directe. Lorsqu'elle est couplée à une perception directe, la représentation mentale permet de « *compléter la connaissance perceptive en se référant à d'autres objets non actuellement perçus* » (Piaget & Inhelder, 1972, p. 28). Si les perceptions permettent de définir ou de compléter les représentations, ces dernières peuvent aussi être considérées comme étant « *le guide de nos perceptions et de nos comportements [...] en perpétuelle évolution* » (Guérin, 1989, p. 5). Par le biais d'autres habiletés spatiales (telle la visualisation), l'individu conçoit ses propres représentations de l'environnement. Celles-ci serviront, par exemple, comme dit précédemment, à appréhender son espace et à définir les stratégies de navigation adéquates. Dans la perspective d'améliorer les représentations d'un individu afin qu'il performe davantage dans les tâches spatiales à accomplir, il est intéressant de travailler les représentations en tant qu'habileté spatiale.

6. Représentation intégrée du cadrage théorique

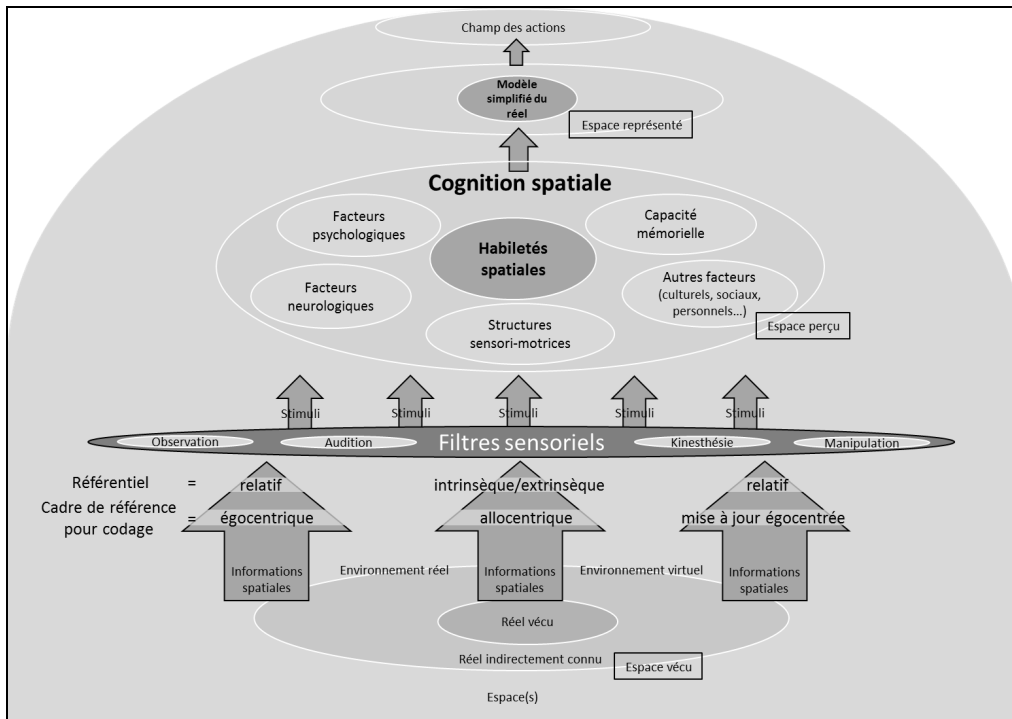


Figure 3.12 – Modèle intégrateur (inspiré de Bailly, 1974 ; Piaget & Inhelder, 1948)

Ce modèle intégrateur, défini à partir des théories de différents auteurs (Piaget & Inhelder, 1948 ; Hart & Moore, 1973 ; Bailly, 1974), tente d'expliquer le mécanisme qui se trouve derrière l'élaboration et la réalisation d'une action par un individu. Sachant que ce dernier organise sa motricité dans sa propre représentation de l'espace, il faudra donc expliquer comment un sujet parvient à créer un modèle simplifié d'un espace à partir de son réel vécu en passant par un dispositif perceptif complexe, sa pensée et sa mémoire (Figure 3.12)

A la base de ce modèle se trouve le réel vécu et le réel indirectement connu. Le premier est familier pour le sujet. Il comprend les espaces vécus, c'est-à-dire les espaces dans lesquels il vit et fonctionne. C'est, en effet, dans ces espaces que l'individu réalise toutes ses tâches quotidiennes (activités occupationnelles, bâtiments fréquentés...). Ces espaces sont donc différents et spécifiques à chaque personne. Parallèlement au réel vécu se trouve le réel indirectement connu qui existe grâce aux interactions avec les proches du sujet ou par les biais des médias de masse (Bailly,

1974). La connaissance de ces espaces, indirectement connus, est donc forcément partielle par rapport à celle des espaces vécus par le sujet.

Pour appréhender un espace, l'individu utilise un dispositif perceptif complexe. Lors de l'apprentissage d'un environnement, le développement psycho-cognitif de l'individu et les situations dans lesquelles il évolue le conduisent à s'appuyer sur les deux systèmes de référence précédemment décrits (référentiel égocentrique/allocentrique). Les informations spatiales recueillies ne constituent alors, pour l'individu, qu'une partie de l'espace réel. L'individu n'est, en effet, pas capable de percevoir la totalité du monde réel, c'est-à-dire, toutes les informations de l'espace réel ou virtuel dans lequel il évolue, pour deux raisons. La première concerne les capacités, parfois limités, des capteurs sensoriels de l'individu (organes de la vue, de l'odorat, de l'ouïe et du toucher) (Dupré, 2006). La seconde est dépendante du niveau d'acquisition des compétences de l'individu (les compétences de lecture et d'audition, par exemples). Les informations spatiales alors prises en compte ainsi que les facteurs internes et externes à l'individu définissent l'espace perçu. Comme les autres types d'espaces, l'espace représenté est également spécifique à chaque individu puisqu'il dépend du vécu personnel et de la psychologie de chacun. L'individu va construire ses actions, organiser sa motricité en fonction de la représentation qu'il se fait de l'espace, qui n'est pas le parfait reflet du monde réel. Aussi, son comportement sera adopté ou non, après sa propre évaluation, en fonction de sa motivation et des contraintes de son environnement (Roger, 1969, cité par Bailly, 1974). Le comportement adopté modifiera alors, à son tour, le réel vécu et inversement.

7. Y a-t-il encore une utilité à enseigner les notions spatiales à l'école ?

Les compétences spatiales sont multiples et permettent de s'orienter, de se repérer, de reproduire un chemin, de comprendre l'organisation spatiale d'un lieu, de mentaliser une action et ses conséquences sur l'environnement, d'indiquer un itinéraire à suivre... Les exemples de ce type ne manquent pas et les situations problématiques nées de difficultés d'orientation ou d'appréhension de l'espace sont aussi nombreuses et connues de tous (sans GPS, nous sommes souvent perdus, voire paniqués ; l'aménagement d'une pièce d'habitat devient rapidement un casse-tête chinois ; la construction d'une armoire en kit par la lecture d'un plan est parfois problématique... étant donné la mauvaise qualité du plan fourni!). Les quelques exemples proposés sont

suffisamment explicites que pour rendre compte des difficultés spatiales éprouvées par une majorité d'individus dans des situations variées.

En matière d'orientation, les problèmes spatiaux ne sont pas récents et concernent l'entièreté de la population. Comme mentionné précédemment, de nombreuses recherches ont été/sont d'ailleurs consacrées à l'étude de questions spatiales chez les personnes âgées, les adultes et jeunes adultes, les adolescents et les enfants ainsi que chez les nouveau-nés. Parmi la kyrielle de projets de recherches existants, celui commandité par le Ministère de l'éducation du Mexique est particulièrement interpellant. Partant du constat que les enfants de la ville de Mexico ne parvenaient pas à se repérer dans la ville et s'y perdaient, notamment pour rejoindre leur école, le Ministère de l'éducation a chargé l'Institut Pédagogique National de réaliser une recherche pour définir le rôle que pouvait jouer l'école pour aider les enfants à se repérer dans la ville et faire face à ce problème majeur d'orientation en milieu urbain (Galvez, 1985).

À l'heure où les nouvelles technologies et les applications de navigation et de géolocalisation sont de plus en plus utilisées, on peut se demander si l'enseignement-apprentissage de connaissances et de compétences spatiales a encore un quelconque intérêt et du sens pour les futures générations. Somme toute, rares sont les personnes qui utilisent encore une carte routière puisque le GPS est un équipement disponible dans une majorité de véhicules... De même, peu de personnes localisent encore une ville sur une carte puisqu'avec les services de cartographie en ligne quelques clics suffisent pour obtenir une information enrichie. Si, par le passé, il s'avérait nécessaire pour l'automobiliste, le cycliste ou le piéton de penser son itinéraire, actuellement, la majorité des personnes utilise les dispositifs mobiles qui se chargent de localiser les points de départ, d'arrivée, de proposer des points d'arrêts intermédiaires, de calculer le temps de route en prenant en considération le facteur « perturbations » (flux d'automobilistes, intempéries, travaux, retards dans les transports en commun...), de proposer des itinéraires alternatifs (plus courts en distance, plus rapides en temps...)... Comme l'indique Denis (2012, p. 127), les systèmes d'aides à la navigation supposent *« classiquement l'absence de connaissances (ou un niveau très limité de connaissances) chez l'utilisateur »*.

Les technologies sont là pour faciliter le quotidien de tout un chacun. Il n'est pas ici question de faire un procès d'intention aux ingénieurs qui développent les fonctionnalités de géolocalisation et de navigation mais de porter une attention

particulière aux effets pervers de l'utilisation abusive de ces technologies. En effet, de récentes recherches (Munzer, Zimmer, Schwalm, Baus & Alsan, 2006 ; Ishikawa, Fujiwara, Imai & Okabe, 2008) ont déterminé que le recours au GPS, à Google Maps, à Google Street View... peut amoindrir les capacités d'orientation et renforcer les lacunes dans le domaine spatial. De plus, en utilisant le GPS, l'individu n'a que rarement une vue d'ensemble du trajet qu'il doit effectuer et devient rapidement un simple exécuteur de consignes, se laissant parfois piéger dans des situations saugrenues (faire le tour du pâté de maisons à plusieurs reprises, entrer dans un cul-de-sac, ne jamais arriver à destination...). Evidemment, s'il ne convient pas de proscrire l'utilisation des technologies, il est cependant important de prendre conscience des effets pervers de leur utilisation dans la vie quotidienne (d'après de récentes recherches menées par Bohbot (2012 ; 2014), utiliser sa mémoire spatiale permettrait, par exemple, de réduire le risque de démence). En pédagogie, il serait intéressant de se servir de ces technologies en connaissance de cause et comme outil d'enseignement-apprentissage (apprentissage de la lecture d'une carte et d'un itinéraire à partir de Google Maps, différenciation des points de vue et utilisation de la notion d'échelle via Google Earth, travail sur des parcours alternatifs et exercice d'orientation à partir de GPS...). Les objectifs poursuivis seraient, par exemple, de rendre plus indépendant l'utilisateur par rapport à ces technologies (ne plus suivre sans réfléchir les consignes dictées par le GPS) afin de prendre connaissance des possibilités et limites des outils proposés.

8. Importance des acquis spatiaux dans les programmes d'études

Si personne ne remet en question le fait qu'il soit utile d'apprendre et de faire apprendre le comptage, le dénombrement, l'écriture et la lecture, il n'en est pas de même pour les activités ayant trait à la géométrie et à la géographie. En effet, que ce soit en Belgique ou dans d'autres pays tels que la France, il n'est pas rare de remettre en question l'utilité de certains contenus issus des programmes de géométrie et de géographie (Berthelot & Salin, 1992). Pourtant, n'est-il pas important d'appréhender un espace, de se le représenter mentalement, de le définir, d'effectuer des repérages, de situer un lieu par rapport à soi-même ou par rapport à un autre endroit ? N'est-il pas nécessaire de planifier des déplacements sans avoir recours aux technologies de géolocalisation, de lire et de comprendre des plans, des cartes ? N'est-il pas utile de

pouvoir décrire une situation, un mouvement, une direction ou une distance afin d'être compris par d'autres personnes ? Toutes les questions qui viennent d'être posées ont pour dénominateur commun l'espace. Darken & Peterson (2002) indiquent que ces compétences spatiales sont essentielles voire vitales pour tout être humain, tout citoyen, d'où la nécessité de les exercer et de les faire acquérir dès le plus jeune âge.

8.1 La notion d' « espace » transparait-elle dans les programmes d'études ?

Que l'espace soit représenté, perçu ou encore vécu, qu'il soit caractérisé par sa dimension (micro/ méso/ macro), l'espace doit être travaillé tout au long de l'enseignement maternel, primaire, secondaire et supérieur. Son enseignement se limite-t-il à l'une ou l'autre discipline ? Pour répondre à cette question, il suffit de consulter les programmes scolaires. Ainsi, on remarque que, quelles que soient les disciplines, on retrouve des savoirs, des savoir-faire et des compétences portant sur la notion d' « espace ».

En français, par exemple, on apprend à utiliser le vocabulaire spatial dans un contexte adéquat afin de se faire comprendre par autrui et de préciser l'exactitude de la pensée et des faits.

Les mathématiques permettent, quant à elles, de travailler la notion d' « espace » de différentes manières en fonction de différents domaines (algèbre ou numératie, géométrie, résolution de problèmes, grandeurs...). Les calculs de périmètres, d'aires et de volumes, pour être compris, requièrent ainsi l'utilisation de l'espace en termes de visualisation, par exemple.

Les sciences offrent un terrain idéal pour travailler la visualisation dans l'espace. C'est le cas tant en physique (avec la rotation autour d'un axe, par exemple), qu'en chimie (pour concevoir l'organisation des atomes dans les molécules, la chiralité, les structures cristallines, etc.) ou en biologie (pour les représentations en coupes, les observations d'objets au microscope ou pour l'annotation d'un schéma...).

En histoire, est travaillé l'« espace-temps » qui conduit l'enfant à situer « *les événements de la vie quotidienne les uns par rapport aux autres, qu'ils se produisent soit dans un même temps et dans des lieux différents, soit dans un même lieu et dans*

des temps différents » (Ministère de la Communauté française de Belgique, programme d'études de l'enseignement fondamental/histoire, p.116).

En géographie, les contenus relatifs à l'espace sont nombreux. Par le biais des activités prévues, les enfants se situent et s'orientent dans des espaces connus et inconnus, au travers de situations vécues ou non (utilisation de cartes...), ils parcourent des itinéraires plus ou moins complexes en employant ou non des plans, ils sont capables de lire un paysage et une image géographique pour appréhender l'organisation d'un espace.

En consacrant à l'espace une partie spécifique, le programme d'éducation physique de l'enseignement fondamental permet de travailler la perception globale et l'organisation spatiale en fonction de repères fixes et mobiles. En outre, les autres activités proposées (reconnaissance de formes géométriques, prise de conscience de la mesure de l'espace, utilisation de cartes dans des activités d'orientation...) conduisent les élèves à se représenter l'espace et à le conceptualiser.

Les cours d'éveil artistique incitent l'élève à s'ouvrir au monde visuel pour percevoir des formes simples et des formes de la nature en 2D et en 3D, à organiser des éléments divers (solides, formes, objets usuels...) pour réaliser des montages, à modeler et représenter des objets spécifiques...

Si la géométrie et la géographie sont les lieux « où l'on apprend à appréhender l'espace » (Kahane, 2002, p. 4), les exemples fournis ci-avant permettent de se rendre compte que la notion d' « espace » est également travaillée dans la majorité des disciplines scolaires.

8.2 Quelles sont les habiletés spatiales qui transparaissent dans les programmes d'études ?

Cette section présente les contenus en termes de savoirs et de savoir-faire, issus des programmes d'études de mathématiques et de géographie de l'enseignement primaire et secondaire, relatifs à l'acquisition d'habiletés spatiales. À chacune des habiletés, précédemment identifiées, sont associés les intitulés présentés dans les programmes d'études. Les intitulés apparaissant en bleu sont les contenus à certifier à la fin du cycle. Les éléments soulignés servent à attirer l'attention du lecteur sur des éléments communs ou différents selon les cycles.

➤ *En mathématiques/géométrie (partie « solides et figures planes »)*

Le Tableau 3.1 reprend, pour l'enseignement fondamental, les intitulés du programme d'études en lien avec l'habileté « navigation spatiale », détaillés sous le titre « *Se déplacer dans la réalité ou dans un espace représenté* ». La lecture des intitulés à travers les différentes tranches d'âges rend compte d'une augmentation progressive du niveau de difficultés des tâches demandées (exécution de consignes et déplacements réels, exécution de consignes orales ou écrites en tenant compte de trois relations spatiales, description et représentation d'un parcours dans un système en deux dimensions puis en trois dimensions).

Tableau 3.1 - Extraits des programmes d'études pour illustrer l'habileté « navigation spatiale »

Habileté « navigation spatiale »			
<i>Se déplacer dans la réalité ou dans un espace représenté</i>			
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
<p>><u>Exécuter des consignes orales explicites, en suivant des indications, en suivant un plan simple.</u></p> <p>><u>Décrire un parcours effectué et le représenter</u> dans un système à deux dimensions.</p> <p>><u>Donner des consignes pour effectuer un parcours</u> dans un système à deux dimensions.</p>	<p>>Exécuter des consignes orales ou écrites explicites, contenant <u>au maximum trois relations spatiales</u>: chorégraphies ; jeux collectifs.</p> <p>><u>Décrire un parcours effectué et le représenter</u> dans un système à deux dimensions.</p> <p>><u>Donner des consignes pour effectuer un parcours</u> dans un système à deux dimensions.</p>	<p>>Suivre des consignes orales ou écrites dans <u>un système à deux ou à trois dimensions</u> : chorégraphies ; sports collectifs.</p> <p>><u>Décrire un parcours effectué et le représenter dans un système à deux ou à trois dimensions.</u></p> <p>><u>Donner des consignes pour effectuer un parcours dans un tel système.</u></p>	

Repris sous le titre « Se repérer » dans le programme d'études de l'enseignement fondamental, les intitulés présentés dans le Tableau 3.2 sont en lien direct avec l'habileté « orientation spatiale ». Définies sur la base de ces intitulés, les activités réalisées conduisent les enfants à se situer dans un espace réel (5 à 8 ans) puis dans un système de repérage (8 à 12 ans) et à utiliser le vocabulaire spatial relatif à la

proximité et à la latéralité (5 à 12 ans). On ne retrouve aucun intitulé en lien avec cette habileté spatiale dans les programmes de l'enseignement secondaire.

Tableau 3.2 - Extraits des programmes d'études pour illustrer l'habileté « orientation spatiale »

Habileté « orientation spatiale »			
<i>Se repérer</i>			
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
<p>Se situer, se déplacer et s'exprimer <u>dans l'espace réel</u>.</p> <p>Utiliser le vocabulaire adéquat :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de proximité : à l'intérieur, à l'extérieur, au centre, près, loin, à côté, entre, en face...; - de latéralité : devant, derrière, à gauche, à droite, au-dessus, en dessous... 	<p>Se situer, se déplacer dans un système de repérage.</p> <p>Utiliser le vocabulaire adéquat :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de proximité : à l'intérieur, à l'extérieur, au centre, près, loin, à côté, entre, en face...; - de latéralité : devant, derrière, à gauche, à droite, au-dessus, en dessous... 	<p><u>Se situer, se déplacer dans un système de repérage.</u></p> <p>Utiliser le vocabulaire adéquat :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de proximité : à l'intérieur, à l'extérieur, au centre, près, loin, à côté, entre, en face...; - de latéralité : devant, derrière, à gauche, à droite, au-dessus, en dessous. 	

Le Tableau 3.3 reprend les intitulés des programmes d'études en lien avec l'habileté « visualisation spatiale ». Des nuances à propos de l'exercice de cette habileté doivent cependant être apportées. À l'exception de l'intitulé « *Apprendre à anticiper mentalement la construction d'un solide à partir d'un développement* » (13-14 ans), il n'est pas ici question de « visualisation spatiale » au sens strict du terme puisqu'il n'est pas demandé aux élèves de visualiser et de manipuler mentalement des objets. En effet, l'apprentissage des transformations du plan se réalise à partir de transparents ou d'objets réels et toutes les actions sont directement observables et effectuées par la manipulation directe. Les intitulés proposés préparent donc les élèves à visualiser spatialement les transformations du plan mais l'habileté spatiale en tant que telle n'est pas exercée.

Tableau 3.3 - Extraits des programmes d'études pour illustrer l'habileté « visualisation spatiale » (en construction)

Habileté « visualisation spatiale » / « rotation mentale » (en construction)			
			<i>Solides et figures planes ; Décrire – Classer – Construire ; Développements</i>
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
			>Apprendre à anticiper mentalement la construction d'un solide à partir d'un développement.
<i>Déplacer des objets les uns par rapport aux autres, dans l'espace ou dans le plan (transformations du plan)</i>			<i>Les transformations du plan ; Les mouvements simples dans l'espace et leurs correspondants dans le plan</i>
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
>Dans le plan, <u>superposer des figures à elles-mêmes</u> (à l'aide d'un transparent) par déplacement et/ou par retournement.	>Dans le plan, <u>superposer des figures à elles-mêmes</u> (à l'aide d'un transparent) par déplacement et/ou par retournement ;	> <u>Déplacer des figures planes et distinguer</u> : - la translation; - la rotation ; - la symétrie orthogonale («faire retourner» autour d'un axe) ; - la symétrie centrale (autour d'un point, rotation de 180°).	Reconnaître l'isométrie qui permet de passer de l'objet à son image. On aura recours au travail expérimental (<u>pliage, papier calque, pavage...</u>) et à l'outil informatique pour <u>faciliter ces découvertes</u> .

Habileté « visualisation spatiale » / « rotation mentale » (en construction)			
<p>> Dans le plan, utiliser translation (faire glisser sur des rails), la rotation (faire pivoter), la symétrie orthogonale (faire retourner) dans des ...</p> <p>... <u>activités concrètes d'expression à l'aide de transparents.</u></p> <p>> Déplacer <u>des objets dans un espace limité</u> (le ballon et le cerceau roulent, tournent en toupie, en rétro).</p>	<p>> Dans <u>des activités concrètes d'expression</u> (dessin, peinture, pliages, pavages, découpages...), utiliser les transformations du plan ;</p>		<p>Associer un mouvement de l'espace à l'isométrie du plan qui lui correspond :</p> <p>« glissement rectiligne » et translation, rotation d'un demi-tour autour d'un axe et symétrie orthogonale, rotation autour d'un point et : - rotation ; - symétrie centrale</p> <p>Reconnaître les isométries du plan dans des frises, pavages, papiers peints, rosaces.</p>
	<p>> En observant les <u>positions initiales et finales de deux figures planes de même grandeur, exprimer le mouvement</u> de l'une...</p> <p>... par rapport à l'autre (<u>à l'aide d'un transparent</u>):</p> <ul style="list-style-type: none"> - glissement (sens de la translation); - pivotement (sens de la rotation) ; - retournement (symétrie orthogonale). 	<p>> En observant les <u>positions initiales et finales de deux figures planes de même grandeur, exprimer le mouvement</u> de l'une par rapport à ... l'autre (<u>à l'aide d'un transparent</u>) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - glissement (sens de la translation); - pivotement (sens de la rotation) ; - retournement (symétrie orthogonale). 	<p>Reconnaître les invariants communs aux quatre isométries :</p> <ul style="list-style-type: none"> - conservation de l'alignement, - conservation de la longueur d'un segment, - conservation de l'amplitude d'un angle, - conservation du parallélisme. <p>Construire aux instruments l'image d'une figure par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - une translation, - une symétrie orthogonale, - une symétrie centrale.

L'habileté spatiale « changement de perspectives » est exercée en classe, à partir de 10 ans, au travers de l'intitulé « *associer un solide à sa représentation dans le plan* » (Tableau 3.4). En plus de comporter la difficulté propre à l'exercice demandé (à savoir, prendre un autre point de vue que celui présenté), il est ici question de travailler dans le plan, sur des représentations en 2 dimensions de solides. Le fait d'exercer pour la première fois cette habileté spatiale à partir de représentations 2D peut engendrer des difficultés supplémentaires.

Tableau 3.4 - Extraits des programmes d'études pour illustrer l'habileté « changement de perspectives »

Habileté « changement de perspectives »			
<i>Reconnaître – Comparer – Construire - Exprimer</i>			<i>Solides et figures planes ; Décrire – Classer – Construire ; Représentations planes</i>
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
		<p>>Associer un solide à sa représentation dans le plan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vue de face, de profil, de dessus; - perspective cavalière. 	<p>>Associer un solide à ses différentes représentations dans le plan.</p> <p>>Comparer différents types de représentations planes : photographies, plans de bâtiments, représentations en vues coordonnées et en perspective.</p> <p>>Construire un cube, un parallélépipède rectangle en perspective cavalière.</p>

➤ *En éveil géographique / en géographie*

Repris sous les titres « *L'enfant parcourt un itinéraire simple* » et « *L'enfant parcourt un itinéraire en utilisant un plan, une carte* » dans le programme d'études de l'enseignement fondamental, les intitulés présentés dans le Tableau 3.5 sont en lien direct avec l'habileté « navigation spatiale ». Sans plus de détails concernant la nature des environnements à utiliser, les activités qui doivent être réalisées avec les enfants

âgés de 5-8 ans sont : parcourir un itinéraire, construire et reproduire un parcours, coder et décoder un parcours ou un déplacement. Les activités proposées aux enfants âgés de 8-10 ans reposent principalement sur l'utilisation de plans et de cartes pour permettre de se rendre à un endroit donné. A l'exception du savoir-faire « lire une carte » qui apparaît dans le programme d'études de l'enseignement secondaire de façon décontextualisée, on ne retrouve aucun autre intitulé en lien avec cette habileté spatiale.

Tableau 3.5 - Extraits des programmes d'études d'éveil géographique/de géographie pour illustrer l'habileté « navigation spatiale »

Habileté « navigation spatiale »			
<i>L'enfant parcourt un itinéraire simple</i>	<i>L'enfant parcourt un itinéraire en utilisant un plan, une carte</i>		
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
<p>>Reproduire puis construire des pavages.</p> <p>><u>Flécher un chemin.</u></p> <p>>Déplacer un objet sur un <u>quadrillage.</u></p> <p>>Suivre un itinéraire précisé par: - des consignes orales; - des croquis; - des écrits; - des photos; - ...</p> <p>>Parcourir un <u>labyrinthe.</u></p> <p>><u>Coder et décoder un parcours, un déplacement.</u></p> <p>>Dans un espace délimité, de plus en plus grand (préau, gymnase, cour de récréation, école...), <u>construire un itinéraire, un circuit en trois dimensions.</u></p> <p>>Le <u>construire d'abord librement puis le reproduire à l'identique.</u></p>	<p>>Utiliser un pantographe, le zoom d'une caméra ou d'un ordinateur, le <u>quadrillage</u>, le microscope...</p> <p>>S'entraîner à <u>utiliser</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le <u>plan</u>, la <u>carte de l'école</u> pour / dans des activités physiques d'orientation; - le <u>plan de sa commune</u> pour se rendre à la librairie, au grand magasin, à la piscine, chez un ami...; - la <u>carte de Belgique</u> pour se rendre en excursion, en classe de dépaysement, en visite chez les correspondants... 		<p>- <u>lire une carte;</u></p>

Dans le Tableau 3.6, apparaissent les intitulés en lien avec les habiletés « navigation spatiale » et « orientation spatiale ». Ces habiletés ne sont pas dissociées l'une de l'autre puisqu'il est question, dans plusieurs intitulés, de s'orienter (navigation spatiale) et de s'orienter par rapport à un objet (orientation spatiale). L'habileté « navigation spatiale » est sollicitée dès l'âge de 5 ans. Il est alors question d'apprendre aux élèves à utiliser le vocabulaire adéquat dans des situations de vie. À 8-10 ans, on apprend aux élèves à s'orienter en utilisant d'abord, comme le préconisent les exemples, des plans en damier (jeu de dames, jeu d'échecs...) et ensuite une boussole. Le vocabulaire spécifique à la géographie est également enseigné à cet âge. À 10-12 ans, les directions cardinales et les conventions cartographiques sont introduites, les élèves sont amenés à les utiliser pour s'orienter et localiser un lieu. À 13-14 ans, les seuls intitulés en lien avec les habiletés susmentionnées sont deux savoir-faire : « utiliser l'atlas » et « lire une carte ».

Tableau 3.6 - Extraits des programmes d'études d'éveil géographique/géographie pour illustrer l'habileté « orientation spatiale »/« navigation spatiale »

Habileté « orientation spatiale »/« navigation spatiale »			
<i>L'enfant parcourt un itinéraire simple</i>	<i>L'enfant parcourt un itinéraire en utilisant un plan, une carte</i>		
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
	<p>> Apprendre à <u>s'orienter</u> en utilisant différents moyens (jeu de dames, jeu d'échecs, grandeur nature...).</p> <p>> Au cours de jeux, apprendre à se servir d'une boussole pour <u>s'orienter</u>, pour <u>placer des objets les uns par rapport aux autres</u>...</p>	<p>> <u>S'orienter et/ou orienter un objet, localiser un lieu selon les quatre directions cardinales (N, S, O, E).</u></p> <p>> Utiliser la boussole pour <u>indiquer sa position relative</u>.</p> <p>> Utiliser la <u>convention cartographique</u> (N vers le haut de la feuille) pour indiquer une position relative.</p>	<p>- <u>utiliser l'atlas;</u></p> <p>- <u>lire une carte;</u></p>

Habileté « orientation spatiale »/« navigation spatiale »			
<i>L'enfant parcourt un itinéraire simple</i>	<i>L'enfant parcourt un itinéraire en utilisant un plan, une carte</i>		
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
> Apprendre à utiliser le vocabulaire spatial en situation de vie (exemple : guider un compagnon en lui indiquant le chemin : à gauche, à droite, entre, devant, derrière...).	> Dans des situations de vie, utiliser le <u>vocabulaire</u> à bon escient : - altitude, amont, aval, rive droite, rive gauche, cours d'eau, plateau, plaine, vallée, méandre, confluent, affluent, alluvion, lit...; - à l'extrémité de, à l'angle de, au croisement de...	> Dans des situations de vie, utiliser le <u>vocabulaire</u> à bon escient : - altitude, amont, aval, rive droite, rive gauche, cours d'eau, plateau, plaine, vallée, méandre, confluent, affluent, alluvion, lit...; - à l'extrémité de, à l'angle de, au croisement de...	

Dans le Tableau 3.7 apparaissent les intitulés en lien avec les habiletés « orientation spatiale »/« visualisation spatiale ». Tout comme pour les intitulés proposés dans le tableau précédent, on remarque ici que les habiletés « orientation spatiale » et « visualisation spatiale » ne sont pas dissociées. Ainsi, dans le même intitulé, l'élève doit se situer et situer un lieu par rapport à un autre. L'élève travaillera d'abord à partir de l'observation d'un paysage existant (5-8 ans) pour ensuite, progressivement, apprendre à lire un paysage à partir d'images géographiques (8-14 ans).

Tableau 3.7 - Extraits des programmes d'études d'éveil géographique/géographie pour illustrer l'habileté « orientation spatiale »/ « visualisation spatiale »

Habileté « orientation spatiale »/« visualisation spatiale »			
<i>Lire un paysage, une image géographique</i>			
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
<p>> Lors des classes de dépaysement, observer <u>le paysage</u> environnant:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>en se situant</u> (où suis-je?...); - en délimitant l'espace: . avec un cadre porté à bout de bras ou collé sur la vitre; . avec un appareil photographique; . avec un tube en carton (longue-vue); <p>> Dire ce qu'on voit.</p>	<p>> Par des exercices pratiques <u>sur le terrain, puis en consultant des images géographiques</u> (photos, affiches, peintures, dessins...), apprendre à lire un paysage:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>en se situant</u> (où suis-je ?) <u>ou en situant le lieu de l'image</u>; - <u>en localisant</u> (situer par rapport à...); - en le délimitant (<u>repères</u> fixés individuellement ou par le groupe); - en <u>déterminant les différents plans</u> (avant-plan, deuxième plan, arrière-plan). 	<p>> Par des exercices pratiques <u>sur le terrain, puis en consultant des images géographiques</u> (photos, affiches, peintures, dessins...), apprendre à lire un paysage:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>en se situant</u> (où suis-je?) <u>ou en situant le lieu de l'image</u>; - <u>en localisant</u> (situer par rapport à...); - en le délimitant (<u>repères</u> fixés individuellement ou par le groupe); - en <u>déterminant les différents plans</u> (avant-plan, deuxième plan, arrière-plan). 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>lire un paysage sur le terrain</u>; - <u>lire une image géographique</u>; - <u>utiliser l'atlas</u>; - <u>lire une carte</u>;

Dans le Tableau 3.8 apparaissent les intitulés en lien avec l'habileté « changement de perspectives ». On remarque que cette habileté est d'abord travaillée, dès 5-8 ans, par le biais d'activités concrètes (prises de photographies à des distances différentes et sous des angles différents pour comprendre la notion de changement de points de vue). Entre 8 et 12 ans, les changements de perspectives sont appréhendés à partir d'images géographiques et de photographies directement fournies par l'enseignant. Dès 10-12 ans, le travail s'effectue aussi à partir de photographies prises de satellites. Dans l'enseignement secondaire, les contenus abordés relatif à l'habileté spatiale susmentionnée sont en lien direct avec la géographie physique (les éléments naturels perceptibles sur des photographies prises par des satellites) et humaine (les aménagements du territoire réalisés par l'homme également perçus sur des photographies satellites).

Tableau 3.8 - Extraits des programmes d'études d'éveil géographique/géographie pour illustrer l'habileté « changement de perspectives »

Habileté « changement de perspectives »			
<i>Lire un paysage, une image géographique</i>			<i>Les couleurs de la Terre ; Echelle</i>
5-8 ans	8-10 ans	10-12 ans	13-14 ans
<p>> S'exercer à prendre des photos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - à des distances différentes (de près, de loin); - sous différents angles (du bas, du haut, en oblique). <p>> Comparer les prises de vue.</p>	<p>> Au départ de lectures d'images de mêmes éléments, identifier et comparer les composantes du milieu : cadrage, angle de vue...</p> <p>> Distinguer photo aérienne et photo au sol.</p> <p>> Préciser l'angle de prise de vue:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vue horizontale; - vue oblique; - plongée, contre-plongée... et les effets sur la représentation. 	<p>> Au départ de lectures d'images de mêmes éléments, identifier et comparer les composantes du milieu : cadrage, angle de vue...</p> <p>> Distinguer photo aérienne et photo au sol.</p> <p>> Préciser l'angle de prise de vue:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vue horizontale; - vue oblique; - plongée, contre-plongée... et les effets sur la représentation. <p>> Observer des photos prises par satellites.</p>	<p>Surfaces : du globe au quartier (ou inversement) : les niveaux spatiaux et leur représentation</p> <p>Paysage : les couleurs des paysages varient en fonction de l'altitude de la prise de vue : - Vue de l'espace, la Terre est une sphère bleue : les trois quarts de la surface terrestre sont immergés sous les océans et les mers. Le dernier quart est constitué de zones émergées. -Vue d'un satellite ou d'une navette, les couleurs de la surface terrestre (vert, brun-orange, bleu, blanc, ...) peuvent – en fonction de la nature du document et de son traitement – révéler des éléments naturels. -Vues d'avion ou du sol, les couleurs sont l'expression des éléments naturels et/ou humains.</p>

Au travers de la lecture des intitulés des programmes d'études de mathématiques et de géographie, on peut remarquer que certaines habiletés spatiales sont plus souvent exercées que d'autres. Parallèlement à cela, il apparaît que les habiletés sont davantage sollicitées durant l'enseignement fondamental en comparaison à l'enseignement

secondaire. Aussi, on peut aussi constater que le manque de précisions des intitulés peut conduire à différentes interprétations des programmes et, par conséquent, à l'exercice d'habiletés différentes.

Concernant les habiletés « orientation spatiale » et « navigation spatiale », on remarque que celles-ci sont exercées à plusieurs reprises durant l'enseignement fondamental, que ce soit en mathématiques ou en éveil géographique. Le manque de précisions et d'informations des intitulés qui se rapportent à ces habiletés ne permet pas d'établir clairement les activités à proposer aux élèves (il n'est, par exemple, pas détaillé ce qu'il faut entendre par « parcours » ou par « plan simple »). S'agit-il d'effectuer des parcours de courtes ou de longues distances ? S'agit-il de se déplacer sur un plan régulier (en « damier » ou « à partir d'un jeu de marelle », comme ce qui est préconisé dans l'enseignement maternel) ou s'agit-il d'apprendre à se déplacer à partir d'un plan irrégulier ou d'un plan de la ville ? Puisqu'elles ne sont pas abordées au travers des intitulés, il semble que les questions relatives à la longueur des parcours et à la structuration de l'espace n'ont ici que peu d'importance. En ce qui concerne l'enseignement secondaire, on remarque que ces deux habiletés spatiales ne sont pas réellement travaillées. Il n'est, par exemple, pas mentionné explicitement dans les programmes que la lecture de carte doit permettre à l'élève de pouvoir s'orienter et naviguer dans un environnement. Bien que pouvant être sollicités à des fins d'orientation spatiale et de navigation spatiale, les savoir-faire « lire une carte » et « utiliser l'atlas » ne favorisent donc pas le développement d'habiletés spatiales en lien avec l'orientation et la navigation.

Alors que l'habileté « changement de perspectives » est exercée dès le début de l'enseignement fondamental en éveil géographique, on remarque qu'elle n'est exercée qu'à partir de 10-12 ans en mathématiques. On constate également que les intitulés en lien avec cette habileté manquent de précisions. En mathématiques, il est par exemple question de faire « Associer un solide à sa représentation dans le plan » mais, quels exercices seront réellement proposés par l'enseignant ? S'agit-il d'associer les solides à leurs représentations en observant l'objet réel ou s'agit-il d'associer les solides à leurs représentations en se basant sur une représentation graphique de l'objet (représentation en 2D) ? Peut-être est-il plutôt préconiser de travailler à partir de manipulations mentales de l'objet (soit à partir de la représentation mentale de l'objet dont dispose l'enfant) ? En fonction de l'activité proposée aux élèves, l'habileté spatiale impliquée peut alors être différente.

Concernant les habiletés « visualisation spatiale » et « rotation mentale », celles-ci n'apparaissent de manière explicite que dans un seul intitulé du programme d'études de l'enseignement secondaire. L'habileté « mémorisation spatiale » ne transparait ni dans les programmes d'études de l'enseignement fondamental, ni dans ceux du début de l'enseignement secondaire.

CHAPITRE 4 : EVALUATIONS EXTERNES
NON-CERTIFICATIVES, PROGRAMME
INTERNATIONAL POUR LE SUIVI DES ACQUIS DES
ÉLÈVES :

NOS ÉLÈVES SONT-ILS PERFORMANTS DANS DES
TÂCHES SPATIALES ?

Chapitre 4 **Evaluations Externes Non-Certificatives, Programme international pour le suivi des acquis des élèves ... nos élèves sont-ils performants dans des tâches spatiales ?**

Afin de démontrer que leurs recherches portent sur un domaine qui est source de difficultés avérées pour les élèves et les enseignants, Berthelot & Salin (1992), dans leur thèse, fournissent quelques exemples de compétences spatiales qui ne sont pas maîtrisées et qui, de fait, constituent un manque dans les pratiques quotidiennes, sociales et professionnelles. Dans le cadre de cette thèse, le choix a été fait de s'interroger sur les connaissances et compétences des élèves au travers de la lecture des résultats des évaluations externes non-certificatives et d'une des évaluations internationales. Après la présentation de ce que sont les évaluations externes non certificatives (EENC) et le programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA), ce quatrième chapitre a pour objectif d'effectuer un relevé des difficultés des élèves concernant l'acquisition de connaissances géométriques, géographiques et/ou spatiales.

1. Description des EENC

Les Evaluations Externes Non Certificatives (EENC) trouvent leurs origines dans le « Décret relatif à l'évaluation externe des acquis des élèves de l'enseignement obligatoire et au certificat d'études de base au terme de l'enseignement primaire » (Communauté française de Belgique, 2006)¹. Comme mentionné dans le 1^{er} article dudit document, l'enseignement fondamental et secondaire² organisé ou subventionné par la

¹ Pour plus de facilité, l'abréviation « DEE » sera utilisée à la place de « Décret relatif à l'évaluation externe des acquis des élèves de l'enseignement obligatoire et au certificat d'études de base au terme de l'enseignement primaire ».

² Les termes « secondaire » et « humanités » seront utilisés sans distinction.

Communauté française³ sont concernés par le Décret. Le 2^e article du Décret définit l'évaluation externe comme « *une évaluation dont la conception et la mise en œuvre sont confiées à des personnes extérieures à l'équipe éducative d'un établissement scolaire* » (p. 1).

Telles que mises en œuvre, les évaluations externes non certificatives concernent soit les élèves de tous les établissements scolaires, et ce quel que soit le réseau d'enseignement, soit un échantillon représentatif des élèves de la Communauté française (Communauté française de Belgique, 2006, article 4).

Par le biais des évaluations externes non certificatives, l'objectif principal poursuivi par les autorités publiques est d'informer sur le niveau d'avancement des élèves en regard aux compétences fixées par les prescrits. Est donc évaluée, la maîtrise qu'ont les élèves des compétences définies dans les Socles de compétences et les compétences et savoirs visés aux articles 16, 25 et 35 du « Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre » (Communauté française de Belgique, 1997). Comme indiqué dans l'article 6 du DEE (2006), les EENC poursuivent au minimum un des autres objectifs énoncés ci-après :

« 1° Permettre à chaque équipe pédagogique d'apprécier l'efficacité de son action en établissant l'état des acquis de ses élèves par rapport aux compétences attendues et en situant les résultats de ses élèves par rapport aux résultats globaux des élèves de la Communauté française;

2° Permettre d'apprécier également l'efficacité de cette action au niveau de chaque zone;

3° Informer les autorités et l'ensemble des acteurs sur les acquis des élèves d'une année d'étude ou d'un âge donné fréquentant l'ensemble des établissements d'enseignement organisé ou subventionné par la Communauté française;

4° Informer les autorités et l'ensemble des acteurs sur l'évolution des acquis de cohortes d'élèves à différents moments du cursus scolaire » (p.2).

³ Actuellement appelée, depuis le 25 mai 2011, « Fédération Wallonie-Bruxelles »

Chacune des évaluations externes non certificatives est créée par un groupe de travail composé du Président de la Commission de pilotage ou son délégué, une équipe de recherche (inter-) universitaire, quatre personnes membres du Service général de l'Inspection, six enseignants professant dans l'année concernée par la dite évaluation (pour l'enseignement primaire : trois enseignants issus de l'enseignement officiel subventionné, deux enseignants issus de l'enseignement libre et un enseignant issu de l'enseignement organisé par la Communauté française ; pour l'enseignement secondaire, un ou deux enseignant(s) issus de l'enseignement officiel subventionné, trois enseignants issus de l'enseignement libre et deux ou un enseignant(s) issu(s) de l'enseignement organisé par la Communauté française) ainsi qu'un ou plusieurs membre(s) du Service de conseil et de soutien pédagogiques émanant des différents réseaux de l'enseignement. En plus de l'élaboration de l'évaluation externe non certificative, le groupe de travail a pour missions de concevoir l'information relative à l'EENC dont il a la charge, de définir les consignes de passation et de correction, de produire un questionnaire socioculturel destiné aux élèves et un questionnaire relatif aux pratiques pédagogiques qui sera rempli par les enseignants. L'ensemble des membres du groupe de travail est tenu au secret professionnel afin de ne pas divulguer d'informations relatives aux contenus de l'EENC rédigée (DEE, 2006, articles 10 et 11).

Afin de prendre en considération le continuum pédagogique défini dans le Décret Mission (1997) et d'apprécier l'évolution de la maîtrise des compétences identiques à différents moments de la scolarité (DEE, 2006, article 8, § 1), les EENC sont organisées pour tous les élèves de troisième année et cinquième année de l'enseignement fondamental et planifiées selon un cycle triennal. Lors de la première année de ce cycle, une évaluation, portant sur la maîtrise de la production d'écrits et la lecture, est organisée. Lors de la deuxième année est proposée une évaluation portant sur la maîtrise des outils mathématiques de base. Enfin, lors de la troisième année, une évaluation portant sur la maîtrise d'autres activités faisant partie de la formation commune obligatoire est organisée. Ces activités sont : la structuration du temps et de l'espace, l'éveil puis l'initiation à l'histoire et la géographie, l'éducation par la technologie, l'initiation scientifique (Décret Mission, article 16, § 3, alinéa 2). Alors qu'il est fait mention explicite qu'une attention particulière doit être accordée aux activités précitées, d'autres activités, telles que l'éducation psychomotrice et corporelle, l'éducation artistique, la découverte de l'environnement, l'éducation aux médias, l'apprentissage de comportements sociaux et de la citoyenneté décrites dans le Décret Mission (ibid.), ne sont pas mentionnées dans le Décret relatif à l'évaluation externe des acquis des élèves

de l'enseignement obligatoire et au certificat d'études de base au terme de l'enseignement primaire (2006).

Concernant les humanités générales et technologiques et les humanités professionnelles et techniques, celles-ci sont également soumises aux EENC selon un plan triennal (DEE, 2006, article 8, § 2).

Concrètement, la passation s'effectue dans chacun des établissements scolaires concernés. Alors que le respect des consignes de passation et le respect des modalités d'organisation de ces passations dépendent directement de la responsabilité des directions des établissements, le respect des consignes de correction et le respect des modalités d'organisation de ces corrections dépendent de l'inspecteur rattaché à l'établissement en question. C'est donc à l'inspecteur qu'est imputée la responsabilité d'affecter à l'enseignant les questionnaires complétés afin que ce dernier ne procède pas à la correction d'évaluations de ses propres élèves ou d'élèves provenant de l'établissement scolaire dans lequel il professe.

Dès que la passation et la correction de l'EENC sont terminées, le groupe de travail procède à l'analyse et la présentation des résultats. Comme mentionné dans le premier alinéa de l'article 14 (DEE, 2006), la présentation « *doit permettre d'apprécier tant le niveau de maîtrise de l'ensemble des compétences évaluées que celui de chacune d'entre elles, en prenant non seulement en considération le niveau moyen mais aussi la dispersion des résultats entre élèves et entre établissements scolaires* » (p. 6). De plus, la présentation doit tenir compte des spécificités des publics concernés par l'EENC afin de pouvoir apprécier le niveau de maîtrise des compétences atteint par une même catégorie d'élèves et doit permettre aux parents de situer leur enfant par rapport à l'ensemble des élèves de la Communauté française.

Tout comme pour l'élaboration des évaluations, de strictes règles régissent l'utilisation des données recueillies lors des EENC. Les résultats des élèves et des établissements scolaires aux EENC doivent être tenus anonymes, à l'exception de l'établissement concerné, des Cellule et Service de conseil et soutien pédagogiques de l'enseignement organisé et/ou subventionné par la Communauté française. Les membres qui ont accès à ces résultats sont tenus au secret professionnel. Conformément à l'article 7 du DEE (2006), personne n'est autorisée à utiliser les résultats obtenus afin de présenter des classements d'établissements scolaires ou des classements d'élèves, notamment à des fins publicitaires ou commerciales.

À la suite de la présentation des résultats, le groupe de travail est chargé de rédiger un document proposant des pistes didactiques pour remédier aux difficultés et erreurs commises par les élèves dans l'évaluation externe non certificative. Ce document est transmis aux enseignants et est rendu disponible sur le site Internet Enseignement.be de la Fédération Wallonie-Bruxelles.

En 2009, les évaluations externes non certificatives portaient sur les disciplines d'éveil (formation historique et géographique et initiation scientifique). En 2010, les évaluations externes non certificatives portaient sur la lecture et la production d'écrits.

En novembre 2011, l'ensemble des élèves de deuxième année et cinquième année de l'enseignement fondamental ainsi que ceux de deuxième année et quatrième année de l'enseignement secondaire ont participé à une évaluation externe non certificative en mathématiques.

Etant donné les faibles résultats des précédentes évaluations externes certificatives et non certificatives dans les domaines des « Grandeurs » et des « Solides et Figures » ; pour la première fois, ces deux domaines particuliers ont été ciblés dans les trois années d'enseignement précitées. Par le biais des EENC, on peut ainsi remarquer que le domaine des « Solides et Figures » ne constitue pas un problème récent pour les élèves de la Fédération Wallonie-Bruxelles. De plus, le fait que le groupe de travail a choisi de mettre l'accent sur les « Grandeurs » et les « Solides »⁴ pour la rédaction du document proposant des pistes didactiques laisse d'ores et déjà penser que ces domaines ont encore posé des difficultés importantes aux élèves lors des dernières évaluations.

Enfin, en novembre 2012, l'ensemble des élèves de deuxième année et cinquième année de l'enseignement fondamental ainsi que ceux de deuxième année de l'enseignement secondaire⁵ ont participé à une évaluation externe non certificative en formation historique et géographique.

⁴ Si les auteurs du document « Pistes didactiques » (2011), relatif à l'EENC en mathématiques pour les élèves de deuxième année primaire, mettent en avant les bonnes performances des élèves concernant la partie « Figures », ils attirent toutefois l'attention des enseignants sur les liens à développer entre les Solides et Figures.

⁵ Les élèves de troisième année de l'enseignement secondaire ont quant à eux participé à une évaluation externe non certificative en sciences.

2. Quelques mots sur l'enquête PISA⁶...

Le *Programme for International Student Assessment* ou, en français, le Programme international pour le suivi des acquis des élèves est piloté par l'*Organisation de Coopération et de Développement Economique* (OCDE) et est administré, au niveau technique, par un ensemble de centres de recherches, coordonné par l'*Australian Council of Educational Research* (ACER). Ce programme d'évaluation internationale est le résultat d'un travail collaboratif mené par de nombreux experts provenant de l'ensemble des pays participant à l'enquête. Cette évaluation est menée auprès d'élèves âgés de 15 ans, quels que soient leur parcours scolaire ou l'orientation choisie, et ce dans les pays membres de l'OCDE ainsi que dans plusieurs autres pays partenaires (Bourny, Dupé, Robin & Rocher, 2001). Il a été choisi d'évaluer les acquis des jeunes de cet âge afin de vérifier s'ils sont prêts à entrer dans la vie adulte et « *sont bien préparés à affronter les défis de la société actuelle* » (OCDE, 2003), d'apprécier « *le degré d'inégalité entre élèves* » (Demeuse & Baye, 2008) et de juger de l'efficacité des systèmes scolaires (Mons, 2007). Si la majorité des pays participant à ces études fixe la fin de la scolarité obligatoire à 15-16 ans (Crahay & Delhaxhe, 2003), les élèves belges doivent rester davantage de temps sur les bancs de l'école puisqu'ils ne peuvent la quitter, du moins complètement, avant l'âge de 18 ans. La durée de l'enseignement secondaire varie donc plus ou moins fortement selon le fonctionnement et l'organisation des systèmes éducatifs des pays participants à l'enquête PISA. Cette variation de durée a pour conséquence une planification différente des actions d'enseignement et d'apprentissage entre chacun des pays engagés dans cette évaluation. En effet, l'ensemble des contenus théoriques à dispenser et des compétences à exercer, puis à maîtriser, est réparti, dans les curricula nationaux belges, sur les six années de l'enseignement secondaire. Contrairement aux élèves d'autres pays participants où la fin de la scolarité est avancée, les élèves belges âgés de 15 ans, n'ont pas acquis *a priori* l'entièreté des objets sur lesquels porte l'évaluation PISA, puisque l'ensemble de la formation jugée ne s'organise pas de la même manière étant donné la différence de temps investi, le degré d'approfondissement de la matière et les choix méthodologiques réalisés en fonction des deux éléments précédemment cités.

⁶ Les passages relatifs à PISA ont été repris et légèrement modifiés de l'article (Demeuse, M., Duroisin, N. & Soetewey, S. (2012). Implications des choix des référentiels dans les évaluations nationales et internationales. *Education comparée*, 7, 124-125).

Réalisée tous les trois ans, cette enquête a pour objectif d'évaluer les acquis des élèves dans trois domaines distincts que sont la compréhension de l'écrit, la culture mathématique et la culture scientifique au travers de la résolution de problèmes dans des situations proches de la vie quotidienne. Lors de chaque évaluation, un des trois domaines cités est privilégié. L'épreuve PISA est unique et traduite dans toutes les langues d'enseignement au départ de versions anglaise et française. Les procédures standardisées de passation de l'évaluation sont définies préalablement et doivent être rigoureusement appliquées dans chacun des pays. Des contrôles sont effectués afin de s'assurer du respect de ces procédures (Lafontaine, 2009). La première évaluation a eu lieu en 2000 et portait prioritairement sur la compréhension de l'écrit (le repérage de l'information écrite, l'interprétation de l'information écrite et la réflexion sur l'information écrite étant les trois compétences évaluées en lecture). En 2012, le domaine majeur d'évaluation de l'enquête PISA, organisée dans 65 pays (34 provenant de l'OCDE et 31 partenaires) auprès de 510 000 élèves âgés de 15 ans, était les mathématiques. L'évaluation de cette composante principale portait sur trois processus mathématiques: formuler des situations de façon mathématique; employer des concepts, faits, procédures et raisonnements mathématiques; et interpréter, appliquer et évaluer des résultats mathématiques. Quatre catégories de contenu étaient ciblées: quantité; espace et formes; variations et relations; et incertitude et données et celles-ci furent exercées dans quatre contextes distincts: personnels, éducatifs, sociétaux et scientifiques. Puisque les mathématiques étaient le domaine majeur d'évaluation, la lecture et les sciences étaient évaluées comme domaines secondaires. À cette enquête de 2012, un échantillon représentatif des élèves belges francophones (pour la Fédération Wallonie-Bruxelles), comptant 3 457 élèves (provenant de 110 établissements), a pris part à l'évaluation. Concrètement, l'enquête peut se dérouler en trois phases. La première est l'épreuve classique « papier-crayon » qui dure deux heures. La deuxième, optionnelle, est un test à réaliser sur l'ordinateur pendant 40 minutes. La troisième consiste à remplir un questionnaire de contexte durant 45 minutes. Ce questionnaire contextuel sert à recueillir des données sociodémographiques ainsi que des informations relatives aux attitudes des élèves par rapport aux mathématiques (i.e. aimez-vous les mathématiques ? réalisez-vous souvent en classe des problèmes comme ceux qui ont été posés lors de l'enquête ?...) (Demonty, Blondin, Matoul, Baye & Lafontaine, 2013).

Les questions posées sont de trois types: les questions à choix multiples (environ 33% des questions posées), les questions ouvertes à réponse brève (environ 33% des questions posées), les questions ouvertes à réponse construite (environ 33% des questions posées).

La prochaine enquête PISA est programmée pour 2015 et se centrera sur les sciences.

3. Relevé des difficultés des élèves

Afin de dégager les principales difficultés éprouvées par les élèves concernant les connaissances spatiales et géométriques, il a donc été choisi de se référer aux résultats des évaluations externes non certificatives (EENC) et à une des évaluations internationales (PISA).

3.1 EENC

Le travail d'analyse mené à partir des EENC concerne six évaluations différentes. Trois d'entre elles portent sur le domaine des mathématiques, les trois autres concernent les domaines de la formation historique et géographique. Plus spécifiquement, le travail a été effectué sur les parties « Grandeurs » et « Solides et Figures » ainsi que sur la partie « formation géographique ». Pour les parties « Grandeurs » et « Solides et Figures », il s'agit des évaluations réalisées, en 2011, en deuxième année et cinquième année de l'enseignement fondamental ainsi que celle organisée en deuxième année de l'enseignement secondaire. Pour les parties « formation géographique », il s'agit des évaluations organisées en 2012 et portant sur l'ensemble des élèves de deuxième année et cinquième année de l'enseignement fondamental ainsi que sur ceux de deuxième année de l'enseignement secondaire.

Sont repris, ci-dessous, année par année d'enseignement, pour chacune des disciplines concernées, les résultats globaux des élèves aux EENC pour chacune des questions en lien avec nos objets de recherche. Seules les performances des élèves issus des écoles hors « Enseignement Différencié » y sont décrites. En fonction des compétences travaillées, des questions posées, des items ciblés, des résultats obtenus par les élèves et/ou des éléments issus des pistes didactiques proposées en lien direct avec le présent

sujet de recherche, certains items et questions font l'objet de présentations plus exhaustives. L'objectif de ces présentations étant d'illustrer et de cibler, avec le plus de précision possible, les difficultés des élèves en lien avec les notions spatiales et géométriques.

3.1.1 Les acquisitions spatiales dans le domaine des mathématiques

➤ Deuxième primaire

La première compétence ciblée dans la partie « Solides et Figures » de l'évaluation est « se situer et situer des objets ». Dans le Tableau 4.1, sont présentés les résultats des élèves pour cette compétence.

Tableau 4.1 - Résultats des questions et items relatifs à la compétence « Se situer et situer des objets » (Extrait modifié du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », p.8)

Figures associées	Type de connaissances	Numéro de la question	Item	Résultats (en %)	Avis des enseignants sur la complexité de la question posée
Figure 4.1	C. spatiale	1	A.	86	Tout à fait adaptée
			B.	99	
			C.	99	
			D.	96	
			E.	67	
			F.	96	
Figure 4.2	C. spatiale	2	A.	97	Adaptée
			B.	52	
			C.	78	

Alors que, globalement, les résultats sont bons (moyenne de 97, 4%) pour l'ensemble des questions posées (Figure 4.1, items B., C., D., F. et Figure 4.2, item A.) relatives aux notions « sur », « au-dessus », « entre », « derrière »... (exemples, la latte est sur le banc juste derrière Karim, la poubelle est entre la porte et l'armoire...), on peut toutefois s'inquiéter du fait que plus d'un élève sur dix éprouve des difficultés à répondre correctement à l'item (A., Figure 4.1) requérant l'utilisation des notions « gauche/droite » (il [Karim] voit l'essuie à gauche de l'évier). Le taux de réussite à cet item (86%) est d'autant plus inquiétant que les enseignants en charge de devoir évaluer la complexité de la question indiquent que celle-ci est « tout à fait adaptée » au niveau de compétence des élèves.

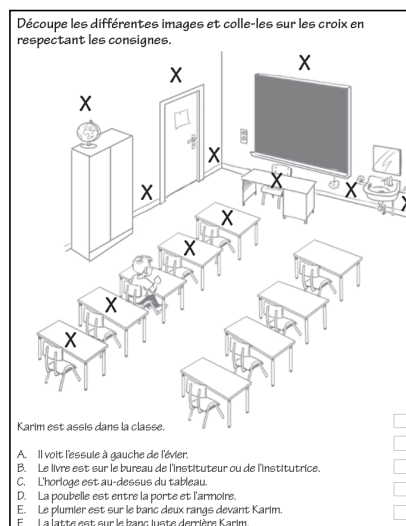


Figure 4.1 - Question 1 relative à la compétence « Se situer et situer des objets » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 21)

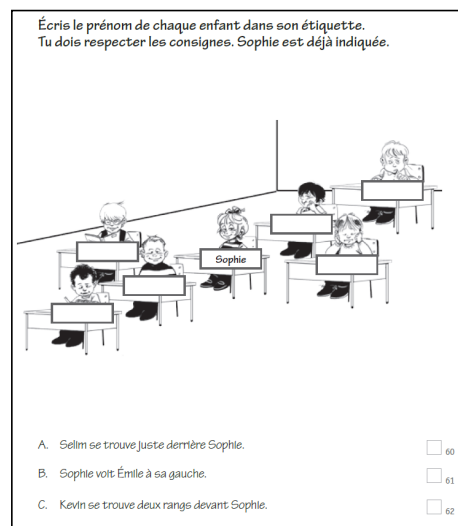


Figure 4.2 - Question 2 relative à la compétence « Se situer et situer des objets » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 33)

Le constat, suivant lequel les notions « droite/gauche » ne sont pas acquises, se confirme à l'occasion d'un autre item où les élèves doivent reconnaître parmi quatre propositions celle qui correspond à la consigne « J'ai deux carrés, je n'ai pas de disque, j'ai un triangle en bas à droite » (73% de réponses correctes). Le groupe de travail, chargé de rédiger le document « Résultats et commentaires », met en avant le fait que les élèves ont confondu la droite et la gauche et ont ainsi sélectionné la mauvaise proposition (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2012a, p.8). Pour rejoindre les propos de Krings (2009), l'acquisition des notions « gauche/droite » suppose donc un apprentissage approfondi et n'est pas le résultat d'un apprentissage spontané de la part de l'apprenant, comme pourraient le laisser paraître d'autres auteurs (i.e. Berthelot & Salin, 1992).

Outre ce premier constat, d'autres items sont nettement moins bien réussis. L'item E. (67% de réussite), correspondant à la première question (voir Figure 4.1), consiste à placer, sur un plan de classe, « le plumier sur le banc deux rangs devant Karim ». Si, comme précisé au paragraphe précédent, les élèves n'éprouvent que peu de difficultés à prendre en considération les relations spatiales de proximité, d'entourage (Cf. Piaget & Inhelder, 1948) quand celles-ci ne portent que sur une information; on remarque que, pour l'item E., les élèves ont des difficultés à prendre en considération deux informations spatiales dans le même temps (le nombre « deux » et « devant »). Cette

difficulté est d'ailleurs également remarquée à un autre item (78% de réussite) où est demandé à l'élève de placer, dans la classe, deux rangs devant Sophie, un autre élève (voir item C., Figure 4.2).

Enfin, l'item posant le plus de difficultés est sans conteste celui demandant à l'élève de faire preuve de décentration en localisant Emilie par rapport à Sophie selon la consigne « Sophie voit Emilie à sa gauche » (item B., Figure 4.2). Cet item, réussi par seulement 52% des élèves, est difficile étant donné la nature de l'exercice. Contrairement aux autres items proposés dans les autres questions, il n'était plus demandé aux apprenants de localiser un élève ou un objet par rapport à leur propre position (point de vue égocentrique) mais par rapport à un autre point de vue, faisant ainsi appel au mécanisme de décentration.

Les deuxième et troisième compétences ciblées dans l'évaluation sont « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » et « Tracer des figures simples ».

Tableau 4.2 - Résultats des questions et items relatifs aux compétences « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer », « Tracer des figures simples » (Extraits modifiés du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », p. 9, p. 10)

Figures associées	Type de connaissances	Numéro de la question	Item	Résultats (en %)	Avis des enseignants sur la complexité de la question posée
Figure 4.3	C.spatiale	3	/	86	Adaptée
	C.spatiale	4	/	81	Adaptée
Figure 4.4	C.géométrique	5	/	67	Adaptée
	C.géométrique	6	/	90	Adaptée
Figure 4.5	C.spatiale/géométrique	7	A.	33	Adaptée
	C.spatiale/géométrique		B.	73	
Figure 4.6	C.spatiale	8	/	27	Trop difficile
	C.spatiale	9	/	47	
	C.spatiale	10	/	52	

Dans le Tableau 4.2 sont repris les résultats des élèves pour ces deux compétences en fonction des questions posées. Si les résultats permettent de remarquer que les exercices d'identification de figures simples (Questions 3 et 4, Figure 4.3) sont réussis par une majorité d'élèves, il convient cependant de rester attentif au fait que ce type d'exercices, requérant la manipulation spatiale de figures simples, pose des difficultés à plus d'un élève sur dix (questions respectivement réussies par 86% et 81% des élèves).

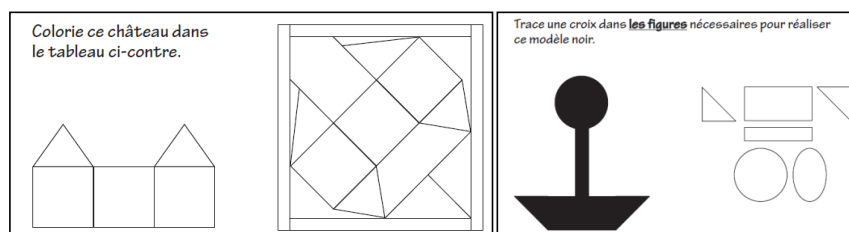


Figure 4.3 - Question 3 (à gauche) et question 4 (à droite) relatives à la compétence « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 19)

Concernant le traçage de figures simples, il paraît surprenant que la question 5 (Figure 4.4) soit réussie par seulement 67% des élèves alors qu'elle est considérée comme « adaptée » par les enseignants interrogés. La question 6 (Figure 4.4) est quant à elle réussie par 90% des élèves. Les élèves éprouvent donc moins de difficultés à terminer de tracer un rectangle que celui d'un carré.

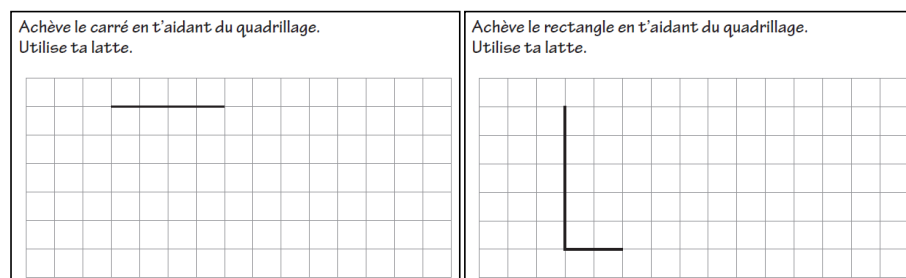


Figure 4.4 - Question 5 (à gauche) et question 6 (à droite) relatives à la compétence « Tracer des figures simples » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 18)

Alors que les questions faisant intervenir la reconnaissance de figures planes dans une situation plus ou moins abstraite sont globalement bien réussies, les questions relatives à l'identification de faces de solides mettent en échec un nombre fort important d'élèves. En effet, l'item A. de la question 7 (Figure 4.5) affiche un taux de succès de 33% (73% de réussite pour l'item B.). L'évaluation de ces deux items permet de prendre conscience du fait que 1) les élèves associent le plus souvent un solide à une seule figure plane, 2) les élèves identifient davantage les traces demandées quand celles-ci sont directement visibles de leur propre point de vue, sans vue en perspective et 3) la forme de la trace laissée par le solide influence les performances des élèves. Ainsi, pour l'item B., il leur était plus aisé de reconnaître les traces triangulaires laissées par la pyramide et le prisme

à base triangulaire que d'identifier, dans l'item A., les traces rectangulaires laissées par ces mêmes solides.

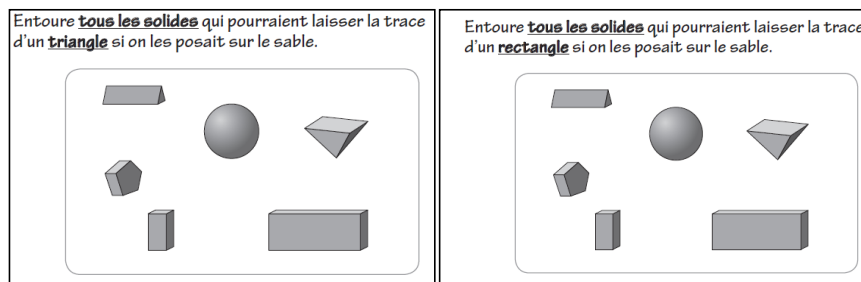


Figure 4.5 - Question 7 (item A., à gauche et item B., à droite) relative à la compétence « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 34)

Les résultats aux questions 8, 9 et 10 (Figure 4.6) portant sur la visualisation de solides dans l'espace, et plus particulièrement sur l'identification des traces laissées par ces derniers, mettent en échec une majorité d'élèves (27% de réussite à la question 8, 47% de réussite à la question 9 et 52% de réussite à la question 10, Tableau 4.2). Tout comme pour la question présentée ci-avant, les présentes questions requièrent des compétences de visualisation spatiale et la prise en considération de changements de perspectives. Si, selon le groupe de travail chargé de présenter les résultats et commentaires de l'EENC, les élèves sont parvenus à identifier une voire deux traces laissée(s) par les solides (le plus souvent celle du solide tel que représenté, correspondant aux « trois petits carrés » et celle du solide en position « couchée », correspondant à la face que les élèves voient), c'est l'identification des trois traces qui a posé le plus de difficultés (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2012a, p. 9).

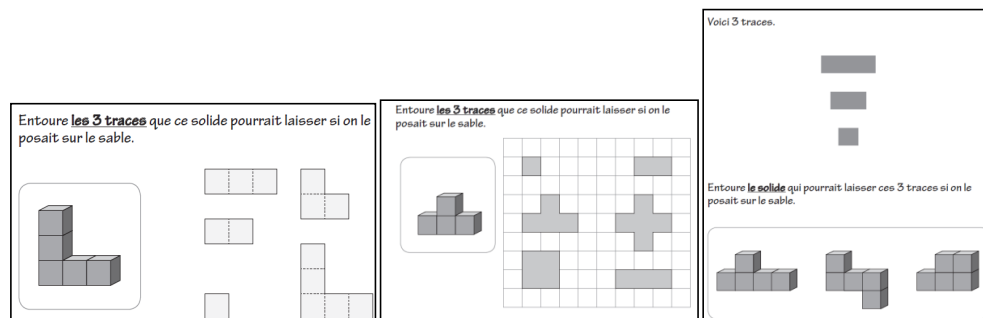


Figure 4.6 - Question 8 (à gauche), question 9 (au centre) et question 10 (à droite) relatives à la compétence « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 35-36)

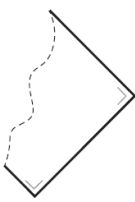
➤ *Cinquième primaire*

Concernant la partie « Solides et figures » de l'EENC destinée aux élèves de cinquième primaire, le premier constat qui peut être fait est que l'ensemble des questions posées porte sur les connaissances de type géométrique, sans que la visualisation spatiale ou toutes autres capacités spatiales ne soient obligatoirement sollicitées. L'exemple proposé ci-dessous (Figure 4.7) permet d'illustrer ces propos. Ainsi, pour les questions 11 et 12, il s'avère que les connaissances théoriques sont suffisantes pour apporter les réponses attendues.

Voici une figure dont une partie a été déchirée.

Pour chacune de ces propositions, trace une croix dans la colonne qui convient.

Cette figure pourrait être	Vrai	Faux
un CARRÉ		
un TRIANGLE		
un RECTANGLE		



1.

2.

3.

4.

5.

6.

7.

8.

9.

10.

11.

A. Écris le(s) numéro(s) de tous les parallélépipèdes rectangles : ☐ A.

B. Écris le numéro d'un solide qui a 10 sommets : ☐ B.

C. Écris le numéro d'un solide qui a 8 faces : ☐ C.

Figure 4.7 - Question 11 et question 12 (items A., B. et C.) relatives à la compétence « Reconnaître, comparer des solides et des figures, les différencier et les classer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 5e primaire, 2011, p. 28 et p. 31)

Sur les quinze questions posées dans la partie « Solides et Figures », quatre d'entre elles portaient sur le traçage de figures simples et une portait sur une activité basée sur le « découpage/collage ». Ayant été réussies par une majorité d'élèves, il a été décidé de ne pas présenter ces questions. Il est à noter qu'une seule question portait sur la reconnaissance d'un axe de symétrie sur des figures planes.

Étant donné le peu de questions relatives aux connaissances et compétences spatiales dans la partie « Solides et Figures », une attention particulière a été portée à la résolution des exercices proposés dans la partie « Grandeurs » de l'EENC de cinquième année. Pour les exercices de la partie « Grandeurs », il était en effet possible de répondre à l'ensemble des questions posées en utilisant des connaissances spatiales, sans avoir recours à une formule relative au calcul de volumes. Les compétences visées pour cette partie sont « Effectuer le mesurage en utilisant des étalons familiers et conventionnels et en exprimer le résultat » (Question 11) et « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes » (Questions 12 à 15). Alors que la majorité des exercices proposés est décrite par les enseignants comme étant « adaptés »

au niveau de leurs élèves, les résultats présentés dans le Tableau 4.3 permettent de remarquer que ces exercices ont posé de nombreuses difficultés aux élèves.

Tableau 4.3 - Résultats des questions et items relatifs aux compétences « Effectuer le mesurage en utilisant des étalons familiers et conventionnels et en exprimer le résultat » et « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes »
(Extraits modifiés du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », EENC, p.5, p.6)

Figures associées	Type de connaissances	Numéro de la question	Item	Résultats (en %)	Avis des enseignants sur la complexité de la question posée
Figure 4.7	C.géométrie	11	/	67	Adaptée
	C.géométrie	12	A.	19	Adaptée
	C.géométrie/spatiale		B.	70	
	C.géométrie/spatiale		C.	74	
Figure 4.8	C.algébrique/géométrie/spatiale	13	/	66	Adaptée
	C.spatiale/géométrie	14	/	65	Adaptée
	C.spatiale/géométrie	15	/	29	Adaptée à difficile
Figure 4.9	C.spatiale	16	A.	71	Adaptée
			B.	43	
			C.	41	
Figure 4.10	C.géométrie/spatiale	17	A.	36	Adaptée à difficile
			B.	22	

Si les élèves ont été 66% à répondre correctement à la question 13 et 65% à trouver la bonne réponse à la question 14, ils ne sont plus que 29% à y arriver pour la question 15. On peut remarquer que la réalisation d'exercices sur une figure plane (2D) s'avère être moins problématique que lorsqu'un exercice similaire est proposé sur une représentation en 3D, nécessitant davantage des capacités de visualisation spatiale (visualisation de cinq « couches » de cinq cubes) en plus des capacités de « dénombrement ».

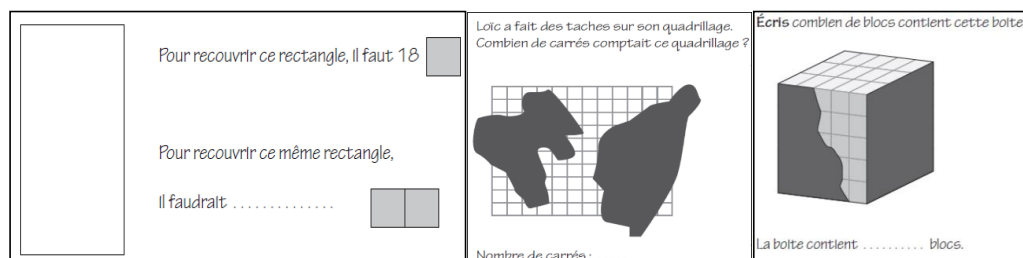


Figure 4.8 – Question 13 (à gauche) relative à la compétence « Effectuer le mesurage en utilisant des étalons familiers et conventionnels et en exprimer le résultat » et les questions 14 (au centre) et 15 (à droite) relatives à la compétence « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 5e primaire, 2011, p. 9, p. 13 et p. 15)

La question 15 comme l'item C. de la question 16 obligent les élèves à visualiser spatialement l'agencement de cubes dans une représentation en 3D alors qu'une partie des informations n'est pas directement accessible par la vue.



Figure 4.9 - Question 16 (item A., B. et C.) relative à la compétence « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 5e primaire, 2011, p. 12 et p. 14)

Si la réussite de 71% des élèves à l'item A. de la question 16 prouve que la majorité des élèves a compris l'exercice proposé. Les différences de performances remarquées entre ce premier item et les deux suivants (B. et C.), affichant des taux de réussite respectifs de 43% et 41%, peuvent donc être imputables à la différence de complexité apparente des exercices qui requièrent la capacité de visualiser spatialement le « remplissage » des boîtes (Figure 4.9).

Même s'il fait intervenir des connaissances géométriques (calcul de l'aire), les exercices proposés dans la question 17 peuvent être résolus, en partie, en analysant visuellement les figures représentées (Figure 4.10).

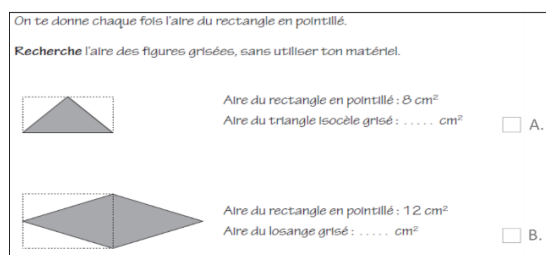


Figure 4.10 - Question 17 (items A. et B.) relative à la compétence « Construire et utiliser des démarches pour calculer des périmètres, des aires et des volumes » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 5e primaire, 2011, p. 14)

Seuls 36% (item A.) et 22% (item B.) des élèves sont parvenus à fournir les réponses attendues. Ceci peut laisser penser que les élèves n'ont pas établi de lien visuel entre la figure grisée et la figure en pointillés (Tableau 4.3).

➤ *Deuxième année du secondaire*

Contrairement à l'EENC qui a été présentée ci-avant, plusieurs questions issues de la partie « Solides et Figures » de l'EENC des élèves de deuxième année du secondaire font appel à la visualisation spatiale et au mécanisme de décentration.

Une des compétences visées dans la partie « Solides et Figures » pour les élèves de 2^e année de l'enseignement secondaire est intitulée « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur ». Les questions décrites ci-dessous portent sur la mise en œuvre de cette compétence. Une des informations à extraire du Tableau 4.4 est que les enseignants jugent le niveau de difficulté des questions posées comme étant « adapté » voire « facile à adapté » par rapport au niveau des élèves. Pourtant, les résultats des élèves aux différentes questions restent assez faibles. Malgré que la matière ait été vue et soit visiblement considérée comme acquise par les enseignants, certaines questions mettent en échec plus de la moitié des élèves interrogés. La question considérée comme « facile à adaptée » n'est ainsi pas réussie par près de deux élèves sur dix.

Tableau 4.4 - Résultats des questions et items relatifs à la compétence « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/ Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur » (Extrait modifié du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », EENC, p.7)

Figures associées	Type de connaissances	Numéro de la question	Item	Résultats (en %)	Avis des enseignants sur la complexité de la question posée
Figure 4.11	C. géométrique/spatiale	18	A.	62	Adaptée
			B.	20	
Figure 4.12	C. spatiale	19	/	92	Adaptée
	C. spatiale	20	/	76	Adaptée
	C. spatiale	21	/	83	Facile à adaptée
Figure 4.13	C.géométrique/spatiale	22	/	44	Adaptée
	C.géométrique/spatiale	23	/	32	
	C.géométrique/spatiale	24	/	70	

Supposant la faculté de passer d'une représentation en deux dimensions à une représentation en trois dimensions de manière à reconstituer mentalement le solide et le nommer, la question 18 pose de toute évidence des difficultés pour bon nombre d'élèves puisque les items A. et B. n'affichent un taux de réussite respectifs que de 62% et de 20%. La question 19 est quant à elle bien réussie puisque 92% des élèves ont trouvé la bonne réponse (Figure 4.11).

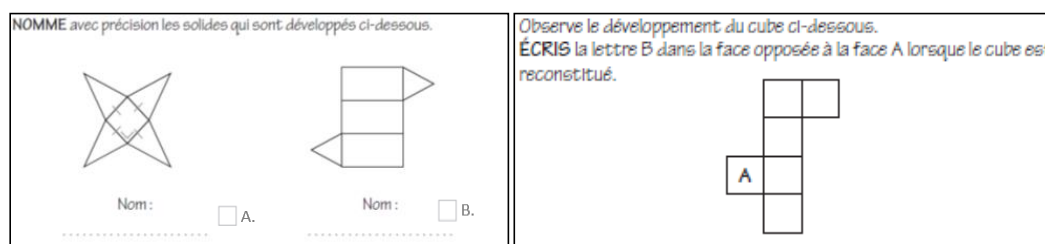
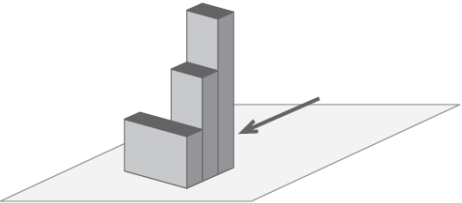


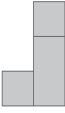
Figure 4.11- Question 18 (item A., à gauche et item B., à droite) et question 19 relatives à la compétence « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/ Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e secondaire, 2011, p. 35)

Les deux questions suivantes mettent en jeu le mécanisme de décentration travaillé dans l'enseignement primaire et évalué dans l'EENC de deuxième année primaire (Figure 4.12).


Un observateur regarde cet assemblage dans le sens indiqué par la flèche.




Parmi les quatre vues proposées ci-dessous, **ENTOURE** la lettre correspondant à ce qu'il voit.



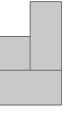
a



b

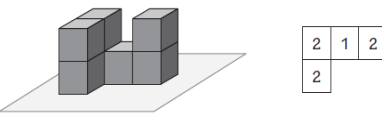


c



d

Voici un assemblage de cubes représenté en perspective ; à droite on a représenté la vue du dessus. Le chiffre inscrit dans les carrés est égal au nombre de blocs superposés à cet endroit.



En te basant sur l'exemple ci-dessus, **DESSINE**, à main levée, la vue du dessus de l'assemblage suivant. **ÉCRIS** dans chaque carré le nombre de blocs superposés à cet endroit.

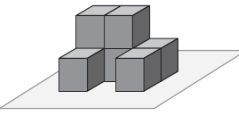


Figure 4.12 – Question 20 et question 21 relatives à la compétence « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/ Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e secondaire, 2011, p. 38)

Une nouvelle fois, on peut constater la fragilité des acquis. Alors que ces questions sont considérées comme étant « adaptées » ou « facile à adapter » par les enseignants, on remarque que les exercices de décentration mettent encore en difficultés des élèves en deuxième année du secondaire (76% de réussite pour la question 20 ; 83% de réussite pour la question 21).

D'autres exercices, ceux-ci couramment réalisés en deuxième année de l'enseignement secondaire, font l'objet de plusieurs questions dans la présente EENC. Trois d'entre elles ont été reprises ci-dessous (Figure 4.13).

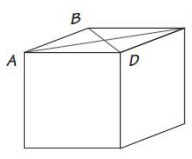
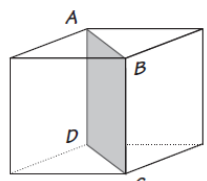
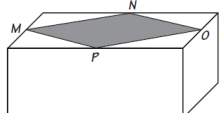
<p>Voici une représentation en perspective d'un cube. Les segments $[AC]$ et $[BD]$ sont de même mesure dans la réalité.</p>  <p>EXPLIQUE pourquoi cette affirmation est correcte.....</p>	<p>Dans le cube ci-dessous, DÉTERMINE la nature du quadrilatère $ABCD$.</p>  <p>Nature du quadrilatère :</p>
<p>$MNOP$ est le quadrilatère obtenu en joignant les milieux des côtés de la face supérieure de ce parallélépipède rectangle.</p>  <p>COCHE la bonne proposition. En vraie grandeur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> $MNOP$ est un carré. <input type="checkbox"/> l'amplitude de l'angle \widehat{NOP} est égale à l'amplitude de l'angle \widehat{OPM}. <input type="checkbox"/> $MNOP$ est un losange. <input type="checkbox"/> la longueur du segment $[MN]$ est plus grande que celle du segment $[MP]$. 	

Figure 4.13 - Question 22 (au-dessus à gauche), question 23 (question au-dessus à droite) et question 24 (en-dessous) relatives à la compétence « Associer un solide à sa représentation dans le plan et réciproquement/ Dans une représentation plane d'un objet de l'espace : repérer les éléments en vraie grandeur » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e secondaire, 2011, p. 36 et p. 37)

La question 22 est réussie par 44% des élèves. L'Agers (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2012b, p. 7) indique qu'il est possible que ce soit la mise par écrit de la justification qui ait posé des difficultés aux élèves pour répondre correctement à cette question. La lecture des résultats d'autres exercices (telle que les questions 23 et 24) laisse cependant penser que la problématique principale concerne davantage la nature même de l'exercice posé plutôt que la forme de la réponse fournie. En effet, qu'il soit demandé à l'élève de justifier sa réponse en termes de mots, de déterminer la nature du quadrilatère recherché (Question 23, 32% de réussite) ou de sélectionner parmi plusieurs propositions celle qui est correcte (Question 24, 70% de réussite), dans le meilleur des cas, seuls 7 élèves sur dix parviennent à fournir les réponses attendues. Alors que celles-ci peuvent être trouvées en raisonnant sur la base des propriétés de figures, elles demandent surtout de la part des élèves des capacités d'abstraction et de visualisation dans l'espace afin de dépasser l'apparence visuelle des tracés (diagonales) ou des formes grisées présentées. Il apparaît ainsi clairement que si l'élève dispose de compétences spatiales appropriées, la réalisation des exercices demandés sera facilitée.

3.1.2 Les acquisitions spatiales en formation géographique

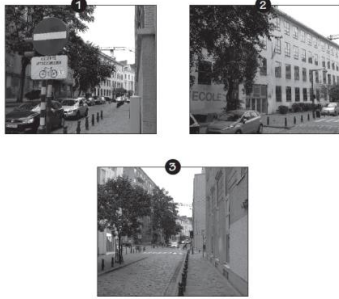
➤ En deuxième année primaire

Un des savoir-faire évalués est « lire une image géographique », le savoir qui y est associé est « identifier ». Dans l'EENC, seules trois questions ciblent des compétences spatiales mettant en exercice les notions de proximité/d'éloignement et de relations spatiales. Ces questions sont globalement bien réussies par les élèves (Tableau 4.5).

Tableau 4.5 - Résultats des questions et items relatifs aux savoir-faire et savoir « Lire une image géographique/Savoir Identifier » et « Situer » (Extraits modifiés du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », EENC, p.5, p.6)

Figures associées	Type de connaissances	Numéro de la question	Item	Résultats (en %)	Avis des enseignants sur la complexité de la question posée
Figure 4.14	C. spatiale	25	A.	87	Adaptée
			B.	73	
Figure 4.15	C. spatiale	26	A.	94	Adaptée
			B.	92	
	C. spatiale	27	a.	63	Adaptée
			b.	81	
			c.	76	
			d.	76	

Les notions de proximité et d'éloignement sont évaluées à partir de la question 25 (Figure 4.14). S'il semble que les élèves parviennent à discriminer, parmi trois photographies, celle prise le plus près de l'école (87% de réussite à l'item A.), les élèves éprouvent cependant plus de difficultés à repérer l'ordre de prises des photographies.



Écris le numéro de la photo qui a été prise le plus près de l'école.

..... A. ☐

Classe les 3 photos en commençant par la plus proche et en terminant par la plus éloignée.

Écris le numéro de chaque photo à l'endroit qui convient.

..... B. ☐

(la plus proche) (la plus éloignée)

Figure 4.14 - Question 25 (item A., au-dessus et item B., en-dessous) relative au savoir-faire et savoir « Lire une image géographique / Identifier » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 20)

L'utilisation de repères spatiaux (devant, derrière, à côté, à gauche, à droite) a été évaluée à partir des deux questions présentées ci-dessous (Figure 4.15).





<p>Observe cette photo prise dans la même cour.</p>  <p>Pour chaque phrase, entoure la proposition correcte. Réponds comme si tu regardais la photo.</p> <p>a. L'arbre se trouve</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> devant le <input type="checkbox"/> derrière le <input type="checkbox"/> à droite du <input type="checkbox"/> à gauche du <p>train.</p> <hr/> <p>b. L'école se trouve</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> devant <input type="checkbox"/> derrière <input type="checkbox"/> à droite de <input type="checkbox"/> à gauche de <p>l'arbre.</p> <hr/> <p>c. Le train se trouve</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> devant <input type="checkbox"/> derrière <input type="checkbox"/> à droite de <input type="checkbox"/> à gauche de <p>l'arbre.</p> <hr/> <p>d. Le toboggan se trouve</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> devant <input type="checkbox"/> à droite de <input type="checkbox"/> à gauche de <p>l'arbre.</p>	<p>Observe cette photo prise dans une cour d'école maternelle.</p>  <p>Pour chaque phrase, coche la proposition correcte.</p> <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;">  <p>Cette photo est prise</p> <p><input type="checkbox"/> de derrière.</p> <p><input type="checkbox"/> de côté.</p> <p><input type="checkbox"/> du dessus.</p> <p style="text-align: right;">A.</p> </div> <div style="flex: 1;">  <p>Cette photo est prise</p> <p><input type="checkbox"/> de derrière.</p> <p><input type="checkbox"/> de côté.</p> <p><input type="checkbox"/> du dessus.</p> <p style="text-align: right;">B.</p> </div> </div>
--	--

Figure 4.15 - Question 26 (item A. et item B.) et question 27 (item a., b., c. et d.) relative au savoir-faire « Situer » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, mathématiques, 2e primaire, 2011, p. 27, p. 28)

La quasi-totalité des élèves maîtrise l'utilisation des repères spatiaux « derrière » et « de côté » (question 26, item A., 94% et item B., 92%) quand il est question de déterminer où la photographie a été prise. Les performances diminuent lorsqu'il est demandé aux élèves de prendre en compte plusieurs informations spatiales. Ainsi, pour la question 27, il leur est plus difficile d'indiquer que l'arbre se trouve derrière le train. De plus, on peut remarquer que les notions de « gauche/droite » ne sont pas acquises par l'ensemble des élèves puisque l'item d. de la question 16 pose des difficultés à plus de deux élèves sur dix.

➤ En Cinquième primaire

L'EENC destinée aux élèves de cinquième année primaire se concentre sur quatre savoir-faire « Lire une image géographique », « Utiliser des repères spatiaux », « Utiliser des représentations spatiales » et « Localiser un lieu, un espace ». Sont repris, dans le Tableau 4.6, les résultats des élèves.

Pour la question 28, considérée comme « adaptée » pour la majorité des enseignants et réussie par 81, 5% des élèves, il est demandé de déterminer le point de vue des


photographies (savoir-faire, Lire une image géographique). Deux possibilités s'offrent aux élèves : soit il s'agit d'une prise de vue aérienne, soit il s'agit d'une prise au sol. Alors que ce savoir-faire apparaît sous la forme d'intitulés dans les programmes d'études dès le deuxième cycle primaire (5 à 8 ans), celui-ci pose toujours problème au troisième cycle puisque près de deux élèves sur dix ne parviennent pas à discriminer les points de vue contrastés entre les photographies.

Tableau 4.6 - Résultats des questions et items relatifs aux savoir-faire et savoir « Lire une image géographique » et « Utiliser des repères spatiaux » et « Utiliser des représentations spatiales » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, Extraits modifiés du document « Résultats et commentaire », p.8-9)

Figures associées	Type de connaissances	Numéro de la question	Item	Résultats (en %)	Avis des enseignants sur la complexité de la question posée
/	C. géographique	28	/	81, 5	Adaptée
Figure 4.16	C. géographique	29	A.	40	Adaptée
			B.	69	Adaptée
			C.	57	
			D.	58	
			E.	66	

Quand les élèves doivent prendre en considération plusieurs sources d'informations, comme cela est le cas, par exemple, à la question 29 (Figure 4.16, item A.), les résultats diminuent considérablement (40% de réussite). On remarque également que l'utilisation de la légende n'est pas un acquis pour tous les élèves. Ainsi, l'item C. (nom de la ville d'arrivée) n'est réussi que par 57% des élèves alors que la réponse attendue apparaît de manière explicite dans la légende. De même, l'item D. demandant aux élèves de déterminer, parmi quatre propositions, la partie de l'itinéraire comportant le plus de côtes (voir légende) affiche un taux de réussite de 58%.

Liège-Bastogne-Liège
Plan de la course



Pour répondre, tu dois utiliser la carte Belgique: carte politique (document 26, page 13).
La course Liège – Bastogne – Liège se déroule dans une des 3 régions de Belgique.
Laquelle ?

A. ☐

Observe le tracé de la course cycliste Liège – Bastogne – Liège et sa légende.
Combien y a-t-il de points de ravitaillement le long du parcours ?

B. ☐

Dans quelle commune a lieu l'arrivée ?

C. ☐

Voici 4 parties de l'itinéraire. Dans quelle partie, y a-t-il le plus de côtes ?
Coche la réponse

D. ☐

☐ Aywaille – Hotton
☐ Hotton – Bastogne
☐ Bastogne – Vielsalm
☐ Vielsalm – Sougné-Remouchamps

Si tu veux voir passer deux fois les coureurs en restant au même endroit, où dois-tu te placer ? Entoure cet endroit sur la carte.

E. ☐

Figure 4.16 - Question 29 relative à la compétence « Utiliser des repères spatiaux » (item A., p.22) et « Utiliser des représentations spatiales » (items B. à E., p. 20, 21) (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du carnet d'élève, EENC, formation historique et géographique, 5e primaire, 2011)

Dans le cadre de cette EENC, les élèves étaient également interrogés sur l'utilisation des points cardinaux et des coordonnées au travers de la compétence « Localiser un lieu, un espace ». Pour cela, des cartes accompagnées d'une rose des vents et d'une légende étaient mises à disposition des élèves pour répondre à différentes questions. Par les résultats obtenus (Tableau 4.7), on remarque que les élèves ont de meilleures performances quand il leur est demandé de travailler en termes de coordonnées (question 30, items A., B., C., D.) qu'en termes de points cardinaux (question 30, items E. et F.).

Tableau 4.7 - Résultats de la question et des items relatifs à la compétence « Localiser un lieu, un espace » (Extraits modifiés du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », EENC, p.8)

Figures associées	Type de connaissances	Numéro de la question	Item	Résultats (en %)	Avis des enseignants sur la complexité de la question posée
Figure 4.17	C. géographique	30	A.	86	Adaptée
	C. géographique		B.	69	
	C. géographique		C.	74	
	C. géographique		D.	74	
	C. spatiale		E.	25	
	C. spatiale		F.	45	
/	C. géographique	31	/	55	Adaptée

Concernent l'utilisation des points cardinaux (rose des vents) (question 30, items E., F.), les items posant le plus de difficultés sont ceux qui portent sur la position relative d'endroits (Figure 4.17). Il est difficile pour les élèves de repérer où se trouve un endroit (ex. Grand Place) par rapport à un autre (ex. Palais de Justice) ou de situer une ville par rapport à une autre (Question 31, « Verviers se situe au Nord ? à l'Est ? au Sud ? à l'Ouest ? de Seraing »). Après avoir analysé les réponses obtenues, l'Agers (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2012c, p. 9) souligne le fait que bon nombre d'élèves confondent l'Est et l'Ouest.

Document 27
Mons centre

Utilise le plan de Mons et sa légende.

Écris le nom de la place qui se trouve dans la case E1.

..... ☐ A.

Cite le nom d'un bâtiment qui se trouve dans la case G3.

..... ☐ B.

Écris les coordonnées de la case (lettre et chiffre) dans laquelle se trouve :

la Machine à eau : ☐ C.

le Beffroi : ☐ D.

Pour répondre aux questions suivantes,
fais spécialement attention à la position de la rose des vents.

Coche, à chaque fois, la seule réponse correcte

La Maison des Cyclistes se trouve ☐ au nord ☐ à l'est ☐ au sud ☐ à l'ouest

de la Collégiale Sainte-Waudru ☐ E.

En partant de la Grand-Place ☒ pour aller vers le Palais de Justice ☒,
on se dirige :

☐ vers le Nord ☐ vers l'Est ☐ vers le Sud ☐ vers l'Ouest ☐ F.

Figure 4.17 - Question 30 (items A.-E.) relative à la compétence « Localiser un lieu, un espace » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du portfolio, EENC, 5e année primaire, p. 14 et extrait du carnet d'élève, EENC, formation historique et géographique, 5e primaire, 2011, p.28)

➤ Deuxième secondaire

Dans l'EENC destinée aux élèves de deuxième année du secondaire, seule une question posée est en lien avec la problématique étudiée.

Tableau 4.8 - Résultats de la question relative à la compétence « Utiliser des repères spatiaux et des représentations spatiales pour situer des faits dans l'espace » (Extrait modifié du document du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, « Résultats et commentaires », 2^e secondaire, p. 9)

Figures associées	Type de connaissances	Numéro de la question	Item	Résultats (en %)	Avis des enseignants sur la complexité de la question posée
Figure 4.18	C. spatiale	32	A.	70	Facile à adaptée
	C. géographique		B.	97	
	C. géographique		C.	92	
	C. géographique		D.	86	
	C. géographique		E.	98	
	C. géographique		F.	53	

Alors que la majorité des enseignants interrogés indique que la question est « facile à adaptée » par rapport au niveau de leurs élèves, on peut remarquer que deux items posent ici des difficultés (Tableau 4.8). D'une part, l'utilisation des directions cardinales (Figure 4.18, item A.) s'avère encore être problématique pour trois élèves sur dix (30% d'élèves de deuxième secondaire ne parviennent pas à utiliser la rose des vents pour situer Tournai à l'Ouest de la Belgique alors que l'acquisition de l'emploi des quatre directions cardinales doit être certifiée en fin de 6^e primaire). D'autre part, on remarque que l'estimation de la distance séparant Tournai de Bruxelles -en tirant partie de l'échelle de la carte- constitue une difficulté pour près de la moitié des élèves (item F.). Hormis ces deux difficultés majeures, les autres questions relatives à la lecture d'une carte et à l'utilisation de sa légende semblent être un acquis pour la majorité des élèves. L'ensemble des questions portant sur ces savoir-faire est, en effet, globalement bien réussi (les items B., C., D. et E. affichent un taux de réussite de plus de 85%).

Remplace les mots soulignés dans chaque phrase pour qu'elle soit correcte. Aide-toi du document 9.

Exemple : Tournai se situe en Italie.
... Tournai se situe en Belgique. ...

- Tournai est une ville située au sud de la Belgique. ☐ A.
- Tournai est traversée par la Meuse. ☐ B.
- Tournai appartient à la province de Luxembourg. ☐ C.
- La province où se situe Tournai est limitrophe des Pays-Bas. ☐ D.
- Tournai se situe en Région flamande. ☐ E.
- Tournai se situe à 150 kilomètres de Bruxelles. ☐ F.

Figure 4.18 - Question 32 (items A.-F.) relative à la compétence « Utiliser des repères spatiaux et des représentations spatiales pour situer des faits dans l'espace » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, extrait du portfolio, EENC, 2^e année secondaire et extrait du carnet d'élève, EENC, formation historique et géographique, 2^e année secondaire, 2011, p.17)

3.1.3 Préciser les lacunes et difficultés des élèves en tirant des enseignements des EENC

Le but de cette partie était donc de mettre en exergue quelques-unes des difficultés spatiales majeures rencontrées par les élèves au fur et à mesure de leur cursus d'apprentissage. Pour cela, les EENC effectuées en mathématiques et en formation géographique pour les 2^e et 5^e années primaire ainsi que celles pour la 2^e année secondaire ont été analysées⁷.

➤ Des performances faibles malgré des épreuves considérées comme « adaptées »

À l'exception des questions 8, 15 et 17 considérées comme étant « trop difficiles » et « adaptées à difficiles », la majorité des questions des évaluations externes non certificatives (sélectionnées dans le cadre de l'analyse effectuée) sont jugées, par les enseignants, comme étant « adaptées » au niveau des élèves. Certaines d'entre elles sont même décrites comme étant « tout à fait adaptée » (question 1) ou « faciles à adaptées » (questions 21 et 32). Malgré le fait que les questions posées soient plus faciles ou correspondent globalement au degré de difficulté attendue par les enseignants, les résultats des élèves sont parfois assez faibles. Ainsi, par exemple, la question 5 (achever

⁷ Même si les Evaluations Externes Non Certificatives sont proposées en novembre, soit en début d'année scolaire, et que les apprentissages ne sont donc pas considérés comme terminés au moment de la passation de ces épreuves, il s'avère néanmoins intéressant de se pencher sur de telles épreuves car elles sont de bons indicateurs permettant d'apprécier, à un moment donné, le niveau des élèves concernant l'acquisition de compétences ciblées.

la construction d'un carré sur quadrillage), jugée comme étant « adaptée » au niveau des élèves, a seulement été réussie par 67% des élèves. La question 7 (reconnaitre les traces laissées par un solide), décrite également comme étant « adaptée » au niveau des élèves, n'est réussie que par 33% des élèves (item A.) et 73% des élèves (item B). En géographie, la question 30 (relative à la compétence « Utiliser des repères spatiaux et des représentations spatiales pour situer des faits dans l'espace »), jugée comme « adaptée » affiche un taux de réussite global de 62,2%. La question 31 est, quant à elle, réussie par 55% des élèves.

- *Un manque de questions relatives aux connaissances spatiales et une prépondérance des contenus mathématiques par rapport aux contenus géographiques*

Dans le troisième chapitre de cet écrit, les connaissances spatiales et les connaissances géométriques/géographiques ont été différenciées sur la base des définitions fournies par Marchand (2006) et Berthelot & Salin (1992). Ces définitions ont permis de distinguer les items proposés dans les EENC en fonction des connaissances visées (connaissances spatiales ou connaissances géométriques/géographiques).

Le Tableau 4.9 reprend, pour chaque discipline et chacune des années d'études concernées, le nombre d'items de l'EENC relatifs aux connaissances spatiales (connaissances dominantes) sur le nombre total d'items de l'EENC (nbre d'items C. spatiales/ nbre total d'items).

Tableau 4.9 - Nombre d'items relatifs aux connaissances spatiales en mathématiques et en géographie en fonction des trois années d'études

	Années d'études		
	2 ^e primaire	5 ^e primaire	2 ^e secondaire
Nombre d'items relatifs aux connaissances spatiales (mathématiques) (nbre d'items C. spatiale/nbre total d'items)	16/84	5/122	3/105
Nombre d'items relatifs aux connaissances spatiales (éveil géographique/géographie) (nbre d'items C. spatiale/nbre total d'items)	8/33	2/58	1/32

À la lecture du Tableau 4.9, deux informations importantes peuvent être retirées. La première concerne le nombre d'items relatifs aux connaissances spatiales. Dans les EENC de deuxième et cinquième année du primaire ainsi que dans celle de deuxième année du secondaire, pour les disciplines de mathématiques et d'éveil géographique/géographie, on remarque que peu d'items concernent directement et exclusivement les connaissances spatiales. En deuxième année du primaire, seuls 16 items sur 84 sont relatifs aux connaissances spatiales. Sur les 124 items posés aux élèves de 5^e année, seuls 7 items évaluent, au sens strict, des connaissances spatiales dans le domaine des mathématiques. De même, en deuxième secondaire, sur les 105 items posés, seuls 5 items portent sur des connaissances spatiales (mathématiques). En éveil géographique/géographie, le constat est encore plus marqué. Pour la deuxième année du primaire, 8 items sur 33 sont consacrés à l'exercice de connaissances spatiales. En cinquième année primaire et en deuxième année du secondaire, aucun item ne porte sur des connaissances spatiales (4/58, cinquième primaire ; 3/32, deuxième secondaire).

La deuxième information importante à retirer porte sur l'inégalité du nombre d'items total en fonction de la discipline évaluée. En effet, on remarque que le nombre d'items total consacré aux mathématiques est plus important que le nombre d'items consacré à l'évaluation des contenus géographiques. Ainsi, par exemple, pour la deuxième année du secondaire, l'EENC de mathématiques comprend 105 items alors que l'EENC de géographie n'en contient que 32.

- *Des difficultés récurrentes en ce qui concerne l'acquisition de compétences spatiales*

Malgré le manque de questions relatives aux connaissances spatiales, il est cependant possible de poser un constat global et dégager certaines difficultés récurrentes chez les élèves.

Dans la publication « Résultats et commentaires », l'Agers (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2012d) indique que les élèves de 5^e année primaire réussissent davantage la partie relative aux « Solides et Figures » (67% de réussite) que celle concernant les « Grandeurs » (53% de réussite). D'emblée, au regard des questions et items proposés dans les parties « Solides et Figures » des autres épreuves (2^e année primaire et 2^e année secondaire), on pourrait alors penser que les élèves de 5^e année primaire maîtrisent davantage les connaissances spatiales que les connaissances géométriques. Il n'en est rien. Comme cela a été dit précédemment, les questions et

items de la partie « Solides et Figures » portent davantage sur des connaissances géométriques que sur des connaissances spatiales. Après avoir analysé les questions posées, il a en effet été remarqué que bon nombre de questions de la partie « Grandeurs » portent sur le calcul de volume. Si, l'utilisation de calculs permettait la résolution des problèmes émis, ceux-ci nécessitaient surtout, en amont, l'acquisition de représentations spatiales et la capacité de visualiser des situations en trois dimensions. Une fois de plus, on remarque que quand les compétences spatiales sont sollicitées, celles-ci posent des difficultés majeures aux élèves.

Pour illustrer les présents propos, le Tableau 4.10 ci-dessous reprend, pour chaque discipline et chacune des années d'études concernées, les pourcentages de réussite et les écarts-types associés pour les items relatifs aux connaissances spatiales.

Tableau 4.10 - Pourcentages de réussite et écarts-types associés pour les items relatifs aux connaissances spatiales en fonction des trois années d'études

	Années d'études		
	2 ^e primaire	5 ^e primaire	2 ^e secondaire
Pourcentage de réussite (%) des items relatifs aux connaissances spatiales (mathématiques)	73,06	49,80	83,67
Ecart-types (σ)	24,11	17,58	8,02
Pourcentage de réussite (%) des items relatifs aux connaissances spatiales (éveil géographique/géographie)	80,25	35	Pas de données représentatives utilisables
Ecart-types (σ)	10,42	14,14	Pas de données représentatives utilisables

Globalement, on peut affirmer le fait que les connaissances spatiales posent des difficultés à plus de 35% des élèves, toutes disciplines et tous âges confondus. Les pourcentages calculés laissent apparaître une importante disparité des performances en fonction des années d'études. On remarque ainsi qu'en cinquième année du primaire, les résultats sont inférieurs aux résultats des autres années et en-dessous de la moyenne. Les écarts-types calculés permettent de nuancer les résultats obtenus pour les autres années. Si, pour la deuxième année du primaire et la deuxième année du secondaire, respectivement plus de 73% et plus de 83% des élèves réussissent les items proposés,

l'importance de l'écart-type rend compte de l'inégale répartition des pourcentages de réussite pour l'ensemble des items. Ainsi, si plusieurs items ont été réussis par une large majorité d'élèves (plus de 90%), d'autres ont affiché un taux de réussite bien plus faible (question 2, item B. : 52% ; question 8, item A. : 27%).

Sont à présent reprises et détaillées, ci-dessous, les difficultés majeures rencontrées par les élèves en ce qui concerne les connaissances spatiales, géométriques et géographiques proposées dans les EENC.

➤ *Une fragilité des connaissances de base qui empêche de se décentrer*

Un constat, assez inquiétant, est que plus d'un élève de 2^e année primaire sur dix se trompe quand il est question de différencier les notions de « gauche/droite » (que ce soit en mathématiques ou en éveil géographique). Etant donné que l'acquisition de ces notions est un pré-requis plus que nécessaire pour réussir les questions relatives à l'habileté spatiale de décentration (voir item B. de la question 2 : 52% de réussite), on peut donc facilement inférer le fait qu'une partie des échecs aux exercices de décentration soit à imputer à une mauvaise connaissance de base et à la difficulté à y faire référence dans une situation donnée. Si la capacité de décentration est, somme toute, peu -voire pas du tout- évaluée dans le cadre de l'EENC de cinquième année primaire, il semble qu'elle n'est cependant pas acquise puisqu'elle pose encore des difficultés à plus de deux élèves sur dix de deuxième année du secondaire (question 20 : 76% de réussite ; question 21 : 83% de réussite). Envisager le point de vue d'autrui est donc une compétence difficilement acquise durant l'enseignement primaire et qui reste, dans l'enseignement secondaire, problématique pour un certain nombre d'élèves.

➤ *La visualisation spatiale et la décentration*

Quelle que soit l'année du cursus scolaire évaluée, les lacunes des élèves en ce qui concerne l'acquisition de certaines habiletés spatiales restent importantes. Parmi celles-ci, on peut citer : la visualisation dans l'espace. Plusieurs des questions et items décrits dans l'analyse des EENC (voir « relevé des difficultés ») mettent en avant cette lacune et permettent en plus de cibler d'autres difficultés telles que : l'élaboration d'images/de représentations mentales et la décentration.

Les faibles résultats obtenus à plusieurs questions (question 7, item A. : 33% de réussite ; question 8 : 27% de réussite ; question 9 : 47% de réussite et question 10 : 52% de réussite) permettent de remarquer que les élèves de deuxième année primaire ont des

difficultés à se représenter mentalement toutes les faces des solides géométriques⁸ représentés, qu'ils soient plus conventionnels (pyramide, parallélépipède rectangle...) ou qu'ils fassent l'objet d'un assemblage inédit de cubes. Pour prendre connaissance des faces non directement visibles d'un solide, l'habileté spatiale de visualisation spatiale doit être doublée d'autres habiletés comme la rotation mentale et la décentration. Ces habiletés, plus que nécessaires pour la réussite complète des exercices proposés, ne sont, tout comme pour les notions de « droite/gauche », pas acquises de manière spontanée par l'apprenant et doivent être travaillées, séparément puis de façon simultanée, dès le plus jeune âge (Mathé, 2012). Le fait que la majorité des enseignants mentionne le caractère « trop difficile » de la plupart des exercices de visualisation spatiale requérant l'identification de traces laissées par les solides (Questions 8, 9, 10) peut laisser penser que ces exercices ne sont que peu travaillés en classe en raison de la complexité qu'ils revêtent⁹.

Étant donné le fait que les exercices de visualisation spatiale sont assez mal réussis par les élèves de deuxième année primaire, il a semblé intéressant de se pencher sur les performances des élèves de cinquième année primaire et de deuxième année du secondaire pour percevoir une évolution. Dans l'EENC destinée aux élèves de cinquième année, plusieurs questions de visualisation spatiale étaient proposées (questions 13, 14, 15, 16 et 17). En analysant les questions posées et les taux de réussite respectifs, on remarque que les questions relatives à la visualisation de figures en deux dimensions sont mieux réussies que celles portant sur des solides représentés en trois dimensions. Ainsi, les questions 13 et 14 affichent un taux de réussite, supérieur à la moyenne, de 66% et 65% alors que la question 15 n'est réussie que par 29% des élèves. Le taux de réussite à la question 16, dont seul l'item A. est réussi par plus de la moitié des élèves, permet de confirmer qu'une des difficultés majeures des élèves concerne la visualisation d'objets dans l'espace quand une partie des informations n'est pas directement perceptible. Concernant l'EENC destinée aux élèves de deuxième année du secondaire, on remarque que les questions de visualisation et de décentration sont parfois peu réussies par les élèves malgré le fait que celles-ci soient qualifiées, par les enseignants, de « faciles à adaptées » ou « adaptées » (question 18, item A. : 62% ;

⁸ Dans les énoncés des EENC, seuls des objets géométriques ont été présentés aux élèves ; aucun objet physique, nécessitant un degré d'abstraction moins important, n'a été présenté.

⁹ Au moment de la passation de l'EENC, 40% des enseignants déclarent ne pas avoir abordé les contenus associés à la question 7 et 60% des enseignants déclarent ne pas avoir abordé les contenus aux questions 8, 9 et 10.

question 18, item B. : 20% ; question 21 : 44% de réussite ; question 22 : 32% de réussite ; question 23 : 70% de réussite).

➤ *La prise en compte difficile de plus d'une information spatiale*

Les analyses des questions posées et des résultats obtenus permettent également de rendre compte d'une autre difficulté rencontrée par les élèves de l'enseignement primaire. Que ce soit dans l'EENC en mathématiques ou dans l'EENC en formation géographique (éveil), les élèves de deuxième année parviennent difficilement à prendre en considération plus d'une information spatiale en même temps (Question 1, item E., Question 2, item C., Question 27, item A.). En ce qui concerne les élèves de 5^e année, on remarque que l'exploitation de tous les éléments issus d'un document est également assez problématique. En effet, les élèves ne retirent pas toutes les informations nécessaires de la légende, du titre du document... De plus, la recherche et la combinaison d'informations provenant de plusieurs documents restent, chez eux, largement peu exploitées.

➤ *Les repères spatiaux et la localisation de lieux*

On remarque que les questions relatives à l'utilisation des repères spatiaux et à la localisation de lieux posent des problèmes majeurs à près de la moitié des élèves. Quand il s'agit de situer des lieux sur un plan à l'aide de coordonnées (question 30, items A. : 86% de réussite, B. : 69% de réussite, C. : 74% de réussite et D. : 74% de réussite), les élèves de 5^e année primaire ont de meilleures performances que lorsqu'ils doivent utiliser des points cardinaux (question 30, items E. : 25% de réussite et F. : 45% de réussite). En deuxième année du secondaire, seule une question est posée pour interroger la compétence « Utiliser des repères spatiaux et des représentations spatiales pour situer des faits dans l'espace ». Cette unique question permet cependant de remarquer que trois élèves sur dix ne parviennent pas à utiliser correctement la rose des vents mise à leur disposition (question 32, item A. : 70% de réussite). Si on assiste entre la 5^e année primaire et la 2^e année du secondaire à une amélioration des performances, force est de remarquer que l'utilisation de repères sous la forme de points cardinaux met encore en difficultés un certain nombre d'élèves.

3.2 L'enquête internationale PISA

Dans le cadre de cette thèse, un intérêt particulier est porté aux évaluations de 2003 et 2012 puisqu'elles portent, en priorité, sur le domaine des mathématiques. Définie, dans l'enquête PISA, comme « *l'aptitude d'un individu à formuler, employer et interpréter des mathématiques dans différents contextes* » (OCDE, 2014, p.28), l'expression « contenu mathématique » désigne « *les facultés de raisonnement mathématique des individus, ainsi que leur capacité à utiliser des concepts, procédures, faits et outils mathématiques pour décrire, expliquer et prévoir des phénomènes* » (Ibidem).

Le contenu mathématique, tel que proposé dans PISA, comporte les catégories suivantes: la « quantité », l'« incertitude et données », les « variations et les relations » ainsi que l'« espace et formes ». L'objet d'étude conduit à principalement s'intéresser à la dernière catégorie citée. Comme indiqué par l'OCDE (2014, p. 43), la catégorie de contenus nommée « espace et formes » englobe un « *large éventail de phénomènes omniprésents dans notre environnement visuel et physique : les régularités, les propriétés des objets, les positions et les orientations, les représentations d'objets, l'encodage et le décodage d'informations visuelles, la navigation et les interactions dynamiques avec des formes réelles ainsi qu'avec leur représentation* ». Si les experts PISA indiquent que la géométrie constitue un fondement essentiel de cette catégorie de contenus, ils insistent sur le fait qu'elle s'étend au-delà des limites de cette discipline en termes de contenu, d'acception et de méthode, et qu'elle intègre d'autres domaines des mathématiques comme l'algèbre, le mesurage et la visualisation dans l'espace. Ainsi, les élèves doivent, entre autres, comprendre la notion de perspective, lire et concevoir des cartes et des plans, transformer des formes en s'aidant ou non d'outils technologiques, interpréter des vues de scènes en trois dimensions sous diverses perspectives ou encore construire des représentations de formes.

L'analyse approfondie, telle qu'effectuée à partir des questions et items des EENC, n'a pas pu être réalisée pour l'enquête PISA étant donné l'impossibilité d'obtenir l'ensemble des questions des enquêtes. En effet, la majorité des questions ne sont pas divulguées afin d'être réutilisées lors des années ultérieures pour comparer les résultats des élèves dans le temps. En ce qui concerne la catégorie de contenus mathématiques « espace et formes », seules quelques unités ont, à l'heure actuelle, été libérées. L'une d'entre elles est proposée à titre d'information ci-dessous (Figure 4.19).

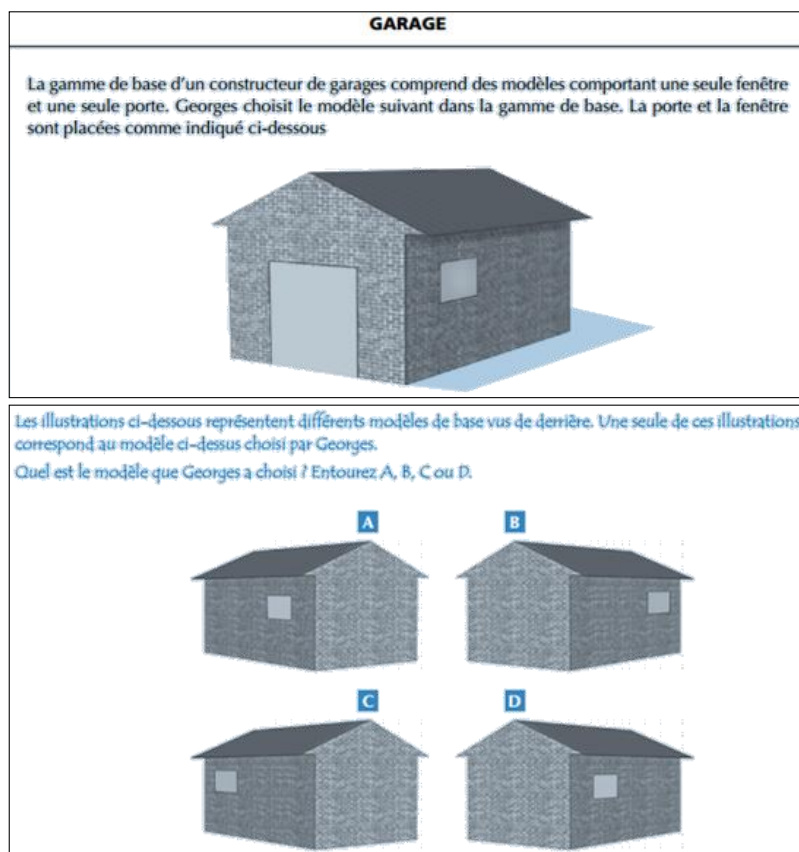


Figure 4.19 - Exemple de question issu de l'enquête PISA (catégorie « espace et formes »)

Puisqu'une analyse en termes de questions et d'items n'est pas possible, il a été choisi de présenter les compétences et tâches mises en œuvre par les élèves pour réussir les niveaux de difficulté déterminés. Le rapport de l'OCDE fournit un outil utile pour situer l'enjeu en termes d'apprentissages. Il s'agit de la « *Description succincte des six niveaux de l'échelle de culture mathématique* » « *Espace et formes* » (OCDE, 2004, p.58 ; OCDE, 2014, p. 112). Cette échelle définit 6 niveaux de difficultés des items et de compétences des élèves réussissant ces items.

Dans le Tableau 4.11 sont présentées, pour la catégorie *l'espace* et les *formes*, les compétences et tâches réalisées par l'élève quand celui-ci atteint un niveau de difficulté donné. Les intitulés ayant trait aux acquisitions spatiales ont été mis en évidence en caractère gras.

Tableau 4.11 - Compétences et tâches spécifiques réalisées par l'élève en fonction du niveau de difficulté (OCDE, 2004, p.58-59 ; OCDE, 2014, p.112)

PISA	Niv.	Compétences
2003	1	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une représentation 2D pour compter ou calculer des éléments d'un objet simple 3D
2012		<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître et résoudre des problèmes simples dans un contexte familier en utilisant des images ou des dessins d'objets géométriques connus et en appliquant des compétences spatiales élémentaires
2003	2	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître des formes géométriques simples • Effectuer des op algébriques simples (une soustraction ou une division par un nombre à deux chiffres) pour résoudre des prob s'inscrivant dans un contexte géométrique • Comprendre une représentation visuelle 2D d'une situation familière (monde réel) • Créer et utiliser une représentation abstraite d'un objet 2D ou 3D • Utiliser des définitions et des termes techniques élémentaires et appliquer des concepts mathématiques de base (symétrie, ...) • Interpréter de manière mathématique un terme comparatif courant dans un contexte géométrique (plus grand que...)
2012		<ul style="list-style-type: none"> • Résoudre des problèmes incluant une seule représentation géométrique familière (un diagramme ou un autre graphique) en comprenant et en tirant des conclusions par rapport à des propriétés géométriques élémentaires clairement présentées et aux contraintes qui s'y rapportent. • Évaluer et comparer les caractéristiques spatiales d'objets familiers dans une situation présentant des contraintes, comme comparer la hauteur ou la circonférence de cylindres de superficie identique ou décider s'il est possible de diviser une forme donnée afin de produire une forme différente.
2003	3	<ul style="list-style-type: none"> • Travailler avec un modèle mathématique familier donné • Utiliser des compétences de perception visuelle et de raisonnement élémentaire d'ordre spatial dans une situation familière • Appliquer des algorithmes courants pour résoudre des problèmes géométriques (calculer des longueurs dans des formes familières) • Interpréter des descriptions textuelles de situations géométriques non familières • Effectuer des opérations simples telles que des conversions d'échelle. • Mettre en œuvre des compétences élémentaires de résolution de problèmes
2012		<ul style="list-style-type: none"> • Résoudre des problèmes demandant un raisonnement élémentaire visuel et <i>spatial</i> en contextes familiers (calculer une distance, une direction à partir d'une carte, d'un GPS) • Établir des liens entre les représentations différentes d'objets familiers ou évaluer les propriétés d'objets dans le cas de transformations simples • Mettre au point des stratégies simples et appliquer les propriétés élémentaires des triangles et des cercles • Utiliser des techniques de calcul (conversion d'échelle pour analyser les distances sur un plan)

PISA	Niv.	Compétences
2003	4	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter des textes complexes pour résoudre des problèmes géométriques ; • Interpréter des consignes séquentielles et suivre une procédure en plusieurs étapes ; • Interpréter des éléments en utilisant leur compréhension de l'espace dans des situations géométriques inhabituelles ; • utiliser un modèle bidimensionnel pour travailler avec des représentations en trois dimensions de situations géométriques non familières ; • relier et intégrer deux représentations visuelles différentes d'une situation géométrique ; • élaborer et appliquer une stratégie de calcul dans des situations géométriques ; • raisonner et argumenter à propos de relations numériques dans un contexte géométrique ; • réaliser des calculs simples (multiplier un chiffre à plusieurs décimales par un nombre entier, procéder à des conversions numériques sur la base de proportions et d'échelles ou calculer la surface de formes familières).
2012		<ul style="list-style-type: none"> • Résoudre des problèmes en recourant à des connaissances mathématiques élémentaires (les relations d'angle et de côtés dans les triangles) et en procédant de sorte à mettre en œuvre un raisonnement en plusieurs étapes, visuel et <i>spatial</i>, et en se livrant à une argumentation dans des contextes familiers. • Relier et intégrer deux représentations différentes (par exemple, pour analyser la structure d'un objet en trois dimensions sur la base de deux perspectives différentes de cet objet) • Comparer des objets sur la base de leurs propriétés géométriques.
2003	5	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en œuvre des compétences de raisonnement, d'argumentation, de réflexion et de compréhension d'ordre géométrique ou <i>spatial</i> dans des contextes à deux et trois dimensions qui leur sont ou non familiers ; • construire ou utiliser des hypothèses pour simplifier et résoudre un problème géométrique s'inscrivant dans un contexte tiré du monde réel, par exemple estimer des quantités dans une situation de la vie courante, et donner des explications ; • interpréter des représentations multiples de phénomènes géométriques ; • utiliser des constructions géométriques ; • conceptualiser et élaborer des stratégies à plusieurs étapes pour résoudre des problèmes géométriques ; • utiliser des algorithmes courants (le théorème de Pythagore, par exemple) dans des situations qui ne leur sont pas familières et se livrer à des calculs de périmètre, de superficie et de volume.
2012		<ul style="list-style-type: none"> • Résoudre des problèmes qui demandent de construire des hypothèses appropriées ou de se servir des hypothèses qui sont données tout en prenant en compte des contraintes formulées de façon explicite • Résoudre des problèmes à l'aide de théorèmes et de procédures (i.e. les propriétés de symétrie, les propriétés des triangles ou les formules servant à calculer la surface, le périmètre ou le volume de formes familières) • Recourir à un raisonnement spatial bien développé, des arguments et des connaissances spécifiques afin de tirer des conclusions pertinentes, d'interpréter et de relier diverses représentations (i.e. identifier une direction ou une situation sur une carte à partir d'informations textuelles)

PISA	Niv.	Compétences
2003	6	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter des descriptions textuelles complexes et les relier à plusieurs représentations • Se livrer à un raisonnement impliquant des proportions dans des situations complexes non familières • Se baser sur une compréhension approfondie pour conceptualiser des situations géométriques complexes ou interpréter des représentations complexes et non familières • Identifier et combiner de multiples fragments d'information pour résoudre des problèmes ; • Concevoir une stratégie pour établir des liens entre des contextes géométriques complexes et des procédures mathématiques connues ; • Réaliser des séquences complexes de calcul ou appliquer de manière précise et exhaustive des procédures de routine dans certains contextes ; • Donner des explications et exposer des arguments par écrit, sur la base de la réflexion, de la compréhension et de la généralisation.
2012		<ul style="list-style-type: none"> • Résoudre des problèmes complexes contenant de multiples représentations ou calculs • Identifier, extraire et relier les informations pertinentes d'un diagramme ou d'une carte • Utiliser une échelle pour calculer une surface ou une distance • Se livrer à un raisonnement <i>spatial</i> et à une réflexion approfondie (en interprétant des textes et des informations contextuelles connexes pour formuler un modèle géométrique adapté et l'appliquer tout en prenant en compte des contraintes contextuelles) • Généraliser les résultats, communiquer les solutions, donner des explications et exposer des arguments • Se rappeler et appliquer des connaissances sur les procédures pertinentes sur la base de connaissances fondamentales en mathématiques (i.e. géométrie du cercle, trigonométrie...)

Lorsqu'elle est associée aux pourcentages d'élèves capables de résoudre les items concernés par les niveaux de difficulté dans PISA, cette échelle permet d'identifier les niveaux à viser en priorité. Ainsi, le graphique présenté ci-dessous (Figure 4.20) reprend les pourcentages d'élèves de l'OCDE atteignant chacun des niveaux de difficultés, pour les enquêtes de 2003 et 2012, afin de cibler quels sont les niveaux qui posent le plus de difficultés aux élèves.

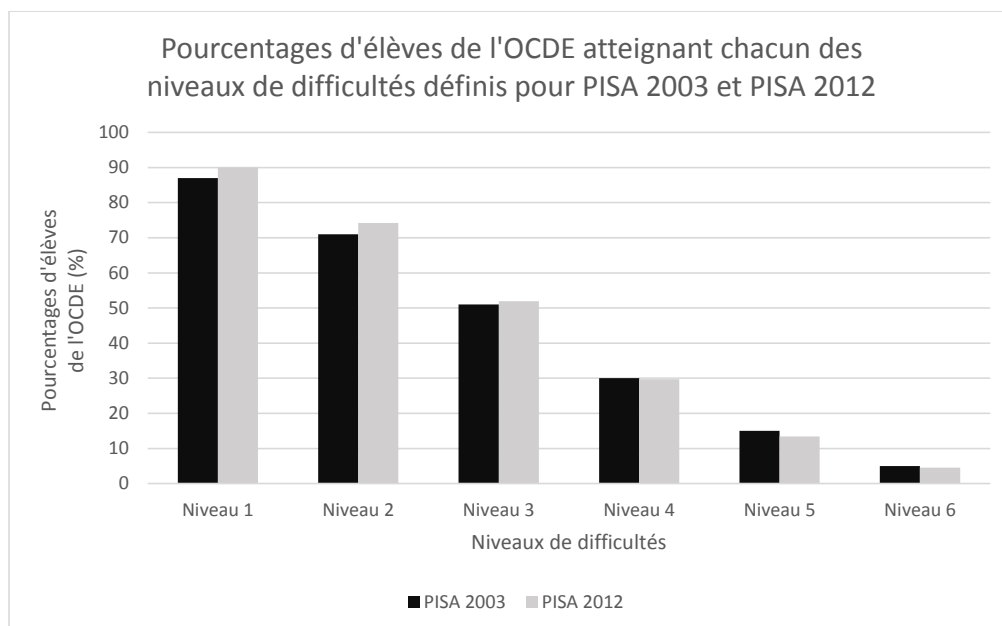


Figure 4.20 - Parts d'élèves de l'OCDE atteignant les niveaux de difficultés définis pour PISA 2003 et PISA 2012 (1 = niveau de difficulté le plus bas ; 6 = le niveau de difficulté le plus élevé)

Quelle que soit l'année de l'enquête, le niveau de difficultés le plus bas (niveau 1) est atteint par plus de 85% des élèves, le niveau 2 est atteint par plus de 70% d'élèves et le niveau 3 est atteint par un peu plus de 50% des élèves de l'OCDE. Concernant les trois niveaux suivants, peu d'élèves parviennent à les atteindre (quelques 30% pour le niveau 4, environ 15% pour le niveau 5 et aux alentours de seulement 5% pour le niveau 6). Alors que plus d'un élève sur dix n'atteint pas le niveau de difficulté le plus bas, à l'inverse, seule une minorité d'élèves réussit les exercices les plus compliqués. Si l'on compare les résultats des enquêtes PISA de 2003 et de 2012, on remarque que les pourcentages d'élèves de l'OCDE atteignant les trois premiers niveaux de difficultés augmentent. Il s'avère donc qu'en 9 ans, les performances des élèves ont évolué favorablement pour les niveaux 1, 2 et 3. Par contre, on assiste à une diminution similaire des pourcentages d'élèves atteignant les 4^e, 5^e et 6^e niveaux de difficultés. Ce graphique montre que la priorité doit donc être maintenue sur l'acquisition des deux niveaux inférieurs afin qu'un nombre plus important d'élèves atteigne le niveau 3 ainsi que les niveaux supérieurs.

Si l'objectif principal de cette partie consacrée aux enquêtes PISA est de dresser un état des lieux des connaissances géométriques et spatiales des élèves de l'OCDE, une attention particulière est également portée aux résultats des élèves belges francophones.

Les performances de ces derniers, en ce qui concerne la catégorie de contenus espace et formes, sont reprises dans le graphique ci-dessous (Figure 4.21).

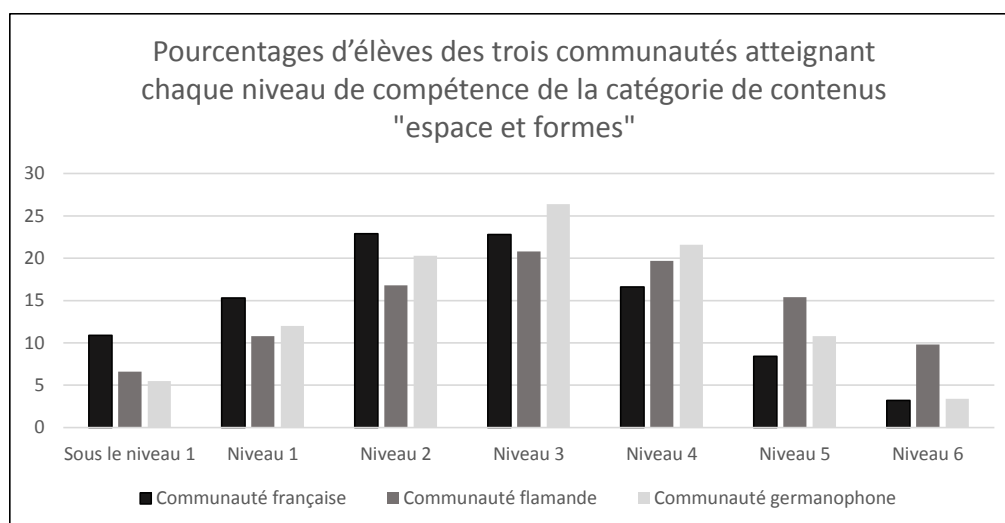


Figure 4.21 - Données issues du rapport de l'OCDE (2014, p. 348).

Un des premiers constats pouvant être tiré de ce graphique est qu'en Belgique, quelle que soit la communauté ciblée, près de 8% des élèves ne parviennent pas à atteindre le premier niveau de difficultés en ce qui concerne la catégorie de contenus relative aux connaissances géométriques et spatiales. Pour les élèves de la Fédération Wallonie-Bruxelles, le constat est encore plus inquiétant puisque plus d'un élève sur dix n'atteint pas le niveau de base requis. Comparativement à l'ensemble des élèves de la Belgique, les élèves belges francophones sont plus nombreux à atteindre les niveaux 1, 2 et 3. Ce constat s'inverse pour les niveaux 4, 5 et 6 puisque les pourcentages d'élèves issus de la Fédération Wallonie-Bruxelles parvenant à ces niveaux sont moins importants que les pourcentages des élèves belges issus des autres communautés. Il apparaît donc que les élèves belges francophones éprouvent davantage de difficultés à résoudre les exercices d'un niveau de complexité plus important par rapport aux élèves issus des autres communautés du pays (flamande et germanophone).

Une lecture croisée entre, d'une part, les pourcentages d'élèves belges francophones qui réussissent les niveaux de difficultés donnés (Figure 4.21) et, d'autre part, l'échelle détaillant les compétences et tâches demandées aux élèves à chacun des niveaux de difficultés (Tableau 4.11), permet de tirer des informations relatives à l'acquisition de connaissances géométriques et spatiales de nos élèves, en Fédération Wallonie-Bruxelles. Parmi ces informations, on peut remarquer que plus de 10% d'élèves ne

parviennent pas à atteindre le premier niveau de difficulté formulé par les intitulés « Utiliser une représentation 2D pour compter ou calculer des éléments d'un objet simple présenté en 3D » et « Résoudre des exercices simples sur des images ou représentations d'objets géométriques familiers requérant l'utilisation de compétences spatiales de base ». Ainsi, les exercices de type : « reconnaître des propriétés de symétrie de base », « comparer des longueurs ou des angles » ou « utiliser des procédures comme la division de formes » mettent en échec plus d'un élève francophone sur dix. Un peu plus de 15% d'élèves ne réussissent pas à dépasser le niveau 1 et environ 23% restent cantonnés au niveau 2 qui repose, entre autres, sur des intitulés portant sur la reconnaissance des formes géométriques simples, sur la compréhension d'une représentation visuelle fournie en 2D, sur la création et l'utilisation de représentations abstraites d'objets 2D ou 3D ou encore sur la comparaison des caractéristiques spatiales d'objets familiers (exemples d'exercices demandés : comparer la hauteur de cylindres de superficie identique, dire s'il est possible ou non de diviser une forme donnée pour produire une forme différente). Défini par les intitulés « Résoudre des problèmes demandant un raisonnement élémentaire visuel et spatial en contextes familiers », « effectuer des opérations simples telles que des conversions d'échelle », « établir des liens entre des représentations différentes d'objets familiers ou évaluer les propriétés d'objets dans le cas de transformations simples », le niveau 3 est atteint par 22,8% qui ne parviennent pas à le dépasser. Une large majorité des élèves belges francophones (près de 72%) n'atteint donc pas les niveaux de difficultés supérieurs.

PARTIE II

DES COMPÉTENCES SCOLAIRES AUX PROCESSUS COGNITIFS

IMPLIQUÉS EN GÉOGRAPHIE ET EN GÉOMÉTRIE

CHAPITRE 5 LA LOCALISATION DE VILLES SUR

CARTE MUETTE,

UNE SIMPLE RESTITUTION DE CONNAISSANCES

GEOGRAPHIQUES ?

Chapitre 5 **La localisation de villes sur carte muette, une simple restitution de connaissances géographiques ?¹**

Dans la partie des Socles de compétences consacrée aux « Savoir-faire et savoirs spécifiques à l'éveil et à la formation géographique intégrant la vie économique et sociale », plusieurs intitulés sont en lien avec l'utilisation des repères spatiaux, des représentations spatiales et la localisation d'un lieu, d'un espace. Si ces contenus doivent être dispensés en classe, on ne dispose pas, à l'heure actuelle, d'informations quant à leur réelles acquisitions (aucun item provenant des évaluations externes non-certificatives ne porte sur la localisation de villes belges) et quand cette information existe, celle-ci est propriété des enseignants qui l'évaluent ponctuellement chez leurs élèves. L'objectif principal de ce chapitre est d'évaluer les connaissances dont disposent les élèves âgés de 8 à 15 ans de leur espace géographique national. Suite à la présentation des résultats, une réflexion porte sur la nature intrinsèque de l'exercice proposé. La localisation de villes sur carte muette est-elle un savoir *stricto sensu*, faisant uniquement appel à la mémorisation et à la restitution de connaissances géographiques, ou repose-t-elle sur des représentations spatiales au sens piagétien du terme, fondée sur une « *création sociale ou individuelle de schémas pertinents du réel* » et renvoyant à l'évocation des mêmes contenus en leur absence (Piaget & Inhelder, 1977, p. 28).

¹ Ce chapitre est largement inspiré d'une publication dont je suis le premier auteur (Duroisin N., Demeuse M., Soetewey S. & Vanschoebeke B. (2014). Comment les élèves perçoivent-ils leur espace géographique ? Enquête menée auprès d'élèves montois âgés de 8 à 15 ans. *La revue G.E.O.*, n°76). J'adresse ici mes remerciements au Professeur Madame Mérenne-Schoumaker (Université de Liège) pour sa relecture de l'article et ses précieux conseils.

1. Introduction

D'un point de vue pédagogique, Laurin (1999, p.471) indique que la carte est « toujours considérée, par les géographes et par les enseignants, comme le principal outil pour comprendre l'organisation d'un espace ». Comme le mentionne Thémines (2004), que la carte soit topographique, administrative ou d'un autre type, son utilisation (construction et lecture) reste très fréquente en géographie. Ainsi, pour faire acquérir de nombreux savoir-faire² aux élèves (utiliser des repères spatiaux, utiliser des représentations de l'espace, localiser et s'orienter...), et ce dès l'enseignement primaire, les référentiels préconisent l'utilisation de cartes inventaires (Thémines, 2006), de plans, de planisphères ou encore d'images géographiques -soit de représentations externalisées-, souvent en deux dimensions, et de taille plus réduite que l'espace étudié (micro-espace).

Pour rappel, en Belgique francophone, les compétences et savoir-faire spécifiques sont énoncés dans les Socles de compétences (Ministère de la Communauté française, 1999a). Dans la partie des Socles, consacrée aux « Savoir-faire et savoirs spécifiques à l'éveil et à la formation géographique intégrant la vie économique et sociale », plusieurs intitulés sont en lien avec l'utilisation des repères spatiaux, des représentations spatiales et la localisation d'un lieu, d'un espace. Parmi ces intitulés, on peut lire (Tableau 5.1) :

² Il persiste une confusion importante quant il convient de différencier les savoirs, les savoir-faire et les compétences (Cf. chapitre 1 de cet écrit).

Tableau 5.1 - Extrait des Socles de Compétences, Formation historique et géographique comprenant la formation à la vie sociale et économique (p. 84-85)

<u>Niveau I</u> (6 ans - 7 ans)	<u>Utiliser des repères spatiaux.</u>	Des repères fixes choisis dans le milieu proche : ↳ dans sa maison ; ↳ dans l'école ; ↳ dans le quartier ; ↳ dans le village.
	<u>Utiliser des repères spatiaux.</u>	Des repères spatiaux : ↳ Sur une carte de la Belgique :
<u>Niveau II</u> (8 ans – 11 ans)		<ul style="list-style-type: none"> ▪ sa commune ; ▪ la Région Wallonne et la Région de Bruxelles-Capitale ; ▪ la Meuse, la Sambre, l'Escaut, d'autres cours d'eaux proches de sa commune ; ▪ les principales villes.
		↳ Sur une carte de l'Europe :
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ la Belgique ; ▪ des Etats de l'Union européenne.
		↳ Sur le planisphère :
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ les continents; ▪ les océans Atlantique et Pacifique.
<u>Niveau III</u> (12 ans – 13 ans)		↳ Sur une carte de la Belgique :
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ sa commune ; ▪ la Région Wallonne et la Région de Bruxelles-Capitale ; ▪ la Meuse, la Sambre, l'Escaut, d'autres cours d'eaux proches de sa commune ; ▪ les principales villes ; ▪ les Régions ; ▪ les Communautés ; ▪ les Provinces.
		↳ Sur une carte de l'Europe :
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ la Belgique ; ▪ des Etats de l'Union européenne. ▪ Les principales mers (mer du Nord, Méditerranée, Baltique) ; ▪ Les Alpes et les Pyrénées.
		↳ Sur le planisphère et le globe terrestre :
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ les continents ; ▪ les océans ; ▪ l'équateur, le méridien de Greenwich, les tropiques, les cercles polaires ; ▪ les hémisphères Nord et Sud.

	Utiliser des représentations de l'espace.
<u>Niveau I</u> (1 ^{ère} année primaire à la fin de la 2 ^e année primaire)	espace auquel on a eu un accès direct : dessin d'un plan, d'un itinéraire vécu dans cet espace sans nécessairement respecter les proportions.
<u>Niveau II</u> (3 ^e année primaire à la fin de la 6 ^e année primaire)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ plan de sa commune ; ▪ carte de la Belgique reprenant les différentes Régions ; ▪ carte de l'Europe avec délimitation des Etats de l'Union ; ▪ planisphère.
<u>Niveau III</u> (1 ^{ère} année secondair e à la fin de la 2 ^e année secondair e)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ plan de sa commune ; ▪ carte de la Belgique reprenant les différentes Régions ; ▪ carte de l'Europe avec délimitation des Etats de l'Union ; ▪ planisphère ; ▪ globe terrestre.
	<u>Localiser un lieu, un espace, Situer</u>
<u>Niveau I</u>	- situation par rapport à soi et à des repères visuels (devant, derrière, à droite, à gauche, entre). - situation par rapport aux repères définis au point 4.1.1 ;
<u>Niveau II</u>	- situation par rapport aux repères définis au point 4.1.1 ;
<u>Niveau III</u>	- situation par rapport aux repères définis au point 4.1.1.

Selon Mérenne-Schoumaker (2007, p. 2), les savoir-faire spécifiques énoncés dans les Socles traduisent un « réel recentrage de la discipline sur ses concepts de base ». Ces concepts relatifs à la « localisation » ou encore à l'« organisation de l'espace » sont ainsi présents dans les programmes d'études d'éveil géographique pour l'enseignement fondamental et de géographie pour l'enseignement secondaire. En ne se focalisant que sur le savoir-faire géographique relatif à la localisation des villes de Belgique, on remarque en effet que les programmes d'études de l'enseignement primaire et secondaire de l'enseignement officiel (Ministère de la Communauté française, 2000, 2008 ; Conseil de l'Enseignement Communes Provinces, 2008) préconisent son exercice dès 8 ans et que cela se poursuive jusqu'au début de l'enseignement secondaire. Pour le cycle 3, le programme de cours de l'enseignement fondamental du réseau organisé par la Communauté française (enseignement officiel) indique que l'enfant âgé de 8 à 10 ans doit être capable de « situer, sur une carte de Belgique, grâce à l'utilisation de repères spatiaux : sa commune, les villes proches de sa commune et les provinces » et qu'au cycle 4, l'enfant âgé de 10 à 12 ans doit être capable de « localiser, sur une carte de

Belgique, grâce à l'utilisation de repères spatiaux : sa commune, les provinces et leur chef-lieu, les régions, les villes proches de sa commune ainsi que Namur, Liège, Charleroi, Bruxelles, Anvers, Gand... ». Le programme d'études pour l'enseignement fondamental, défini par le CECP, est, quant à lui, plus évasif puisque, comme dans les Socles de compétences, aucun nom de villes n'est évoqué (utilisation de l'intitulé « villes principales »). En plus du manque de précisions des Socles de compétences et des programmes d'études relatifs aux caractéristiques des villes à situer (villes avec une forte densité, villes avec une importante superficie...), ces derniers n'apportent aucune information (définitions, exemples) concernant les « repères spatiaux » à utiliser. Ainsi, le choix des villes à situer ainsi que la définition et l'utilisation de repères spatiaux sont laissés à la responsabilité et l'appréciation de l'enseignant.

Concernant le référentiel de compétences terminales et savoirs requis (Ministère de la Communauté française, 1999b, p.5), dans la section « savoirs », il est indiqué que les « références spatiales sont utiles pour que l'élève puisse situer les faits, se poser des questions pertinentes et établir des liens et/ou des comparaisons ». Parmi l'ensemble de ces références, on retrouve « les grands pôles urbains belges ». Contrairement aux programmes d'études de l'enseignement fondamental, la localisation n'est plus explicitement mentionnée dans l'ensemble des programmes de l'enseignement secondaire³. Considérant qu'il s'agit d'un acquis réalisé lors des cycles d'études précédents, d'autres savoirs, savoir-faire et compétences sont alors visés de manière à mieux situer l'activité de l'homme dans l'espace géographique et ses transformations, comme y encouragent de nombreux auteurs (Rosemberg, 2003; Dauphin *et al.*, 2009 ; Sierra, 2011).

Comme le montre cette brève analyse, réalisée au départ des Socles de compétences, les exercices de localisation sont uniquement prévus dans les programmes d'études de l'enseignement fondamental. Une large place est alors laissée à l'utilisation de cartes puisque celles-ci permettent à l'élève de prendre connaissance de son espace proche et de l'espace belge dans lequel il évolue. Du côté des évaluations externes non-certificatives en éveil géographique et en géographie, on a pu remarquer (cf. chapitre 4 de cet écrit) qu'aucun item ne porte sur la localisation de villes belges.

³ Ainsi, pour le cycle 5, dans les programmes d'études rédigés par le réseau organisé par la Communauté française, est mentionnée l'« inégalité de la répartition des villes en Belgique (En Belgique, la répartition des grandes villes correspond à celle de la population) ». De même, pour le cycle 6, pour la Communauté française, on trouve le concept relatif à la « répartition géographique (les grandes villes belges sont très inégalement réparties : toutes sont situées au nord du sillon Sambre-Meuse, ou appartiennent à celui-ci) ».

Etant donné que les contenus relatifs à la localisation des principales villes belges sont exercés pendant plusieurs années durant l'enseignement fondamental, que cette acquisition doit être certifiée à deux reprises, mais qu'aucune information concernant son acquisition réelle par les élèves n'est disponible, la présente enquête a pour objectif d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes : « Les élèves possèdent-ils une représentation assurée de l'espace belge ? », « Parviennent-ils à le représenter ? », « Toutes les villes sont-elles localisées avec la même précision par les élèves d'âges différents ? », « Toutes les villes ont-elles la même saillance pour les élèves ? », « Peut-on penser que les savoirs relatifs aux localisations sont suffisamment maîtrisés pour construire, sur cette base, d'autres savoirs géographiques ? ». L'enquête porte sur l'espace géographique belge et interroge les élèves âgés de 8 ans à 15 ans sur la localisation de 15 villes sur une carte muette munie de deux repères spatiaux⁴. Cette enquête, exploratoire, a donc pour but d'évaluer, dans une perspective développementale, les performances des élèves concernant la localisation de villes, telle que mentionnée dans les référentiels communs et dans les programmes d'études. Les résultats de cette enquête permettent ensuite d'ouvrir la discussion concernant la nature intrinsèque de l'exercice proposé. Des indices laissent supposer que la localisation de villes sur carte muette est plus que la restitution de simples connaissances géographiques...

2. Présentation de l'enquête, méthodologie & recueil de données

2.1 Une technique inspirée des cartes cognitives

La technique utilisée pour le recueil des données s'inspire largement des cartes cognitives (cartes mentales ou sketch maps) définies par de multiples auteurs (Tolman, 1948 ; Appleyard, 1970 ; Downs & Stea, 1973 ; Gould & White, 1974 ; Milgram & Jodelet, 1976 ; Moles & Rohmer, 1978 ; Pyslyshin, 1981 ; Liben, 1982 ; André *et al.*, 1989 ; Ramadier, 2003 ; Haas, 2004).

⁴ Étant donné qu'aucune précision concernant les repères spatiaux n'apparaît dans les Socles de compétences et les programmes d'études, il a été choisi de proposer aux élèves deux repères spatiaux distincts (représentation schématique du contour de la Belgique et mise à disposition d'une rose des vents).

Concrètement, il s'agit de représenter un macro-espace (ou espace géographique au sens de Montello, 1993) dans un micro-espace (à savoir une carte au format A4). La tâche demandée est un exercice individuel, papier-crayon, de localisation de villes sur carte muette avec utilisation de repères spatiaux. Ces repères spatiaux sont définis par la représentation schématique des frontières politiques de la Belgique (Figure 5.1) et par une rose des vents placée dans le coin supérieur droit de la feuille (les carrés noirs dans chacun des coins de la feuille permettent l'encodage des cartes de manière précise, en conservant l'échelle). La consigne donnée était la suivante : « Il vous est demandé de situer sur la carte muette, le plus précisément possible et dans l'ordre que vous souhaitez, les 15 villes belges suivantes : Mons, Charleroi, Tournai, Namur, Bruxelles, Liège, Arlon, Anvers, Gand, Bruges, Hasselt, Ath, Ostende, Courtrai et La Louvière. La localisation de chacun de ces pôles urbains devra être symbolisée par une croix et, à côté de cette croix, le numéro correspondant à la ville localisée devra être noté. Ainsi, si vous souhaitez placer Tournai sur la carte muette, vous dessinez une croix à l'endroit où vous pensez situer Tournai et vous indiquez le numéro 3 ». Le nom de chacune des villes et le numéro qui lui correspond sont indiqués, dans un encadré, dans la partie inférieure gauche de la feuille.

2.2 Echantillon

Trois-cent soixante-neuf élèves ($N = 369$ élèves) âgés de 8 à 15 ans, issus de quatre écoles situées sur le territoire de la ville de Mons, ont participé à cette enquête. Le choix des établissements scolaires a été effectué sur la base de leurs caractéristiques socio-économiques. Elles devaient être situées dans la moyenne (classes 8 à 11 dans une distribution qui comporte 20 classes couvrant chacune 5% de l'effectif total). Les accords des directions d'établissements et des enseignants concernés ont été obtenus afin de dispenser l'enquête à chaque élève.

Le nombre d'élèves, pour chacune des classes d'âge, est présenté dans le Tableau 5.2. Sur l'ensemble des élèves interrogés, six n'ont pas remis leur copie dûment complétée (élèves n'ayant pas les connaissances langagières nécessaires ou élèves s'étant absentés durant l'enquête). Ces six élèves n'ont pas été pris en compte dans les analyses.

Tableau 5.2 - répartition du nombre d'élèves en fonction de leur âge

Âges	Effectifs	Pourcentages (%)
8	43	11,8
9	47	12,9
10	44	12,1
11	47	12,9
12	45	12,4
13	44	12,1
14	48	13,2
15	45	12,4
Total	363	100

2.3 Recueil des données

Les réponses des élèves ont été encodées manuellement par pointage sur l'image scannée de la carte fournie par chacun d'eux. Une application spécifique a été développée pour construire un module d'encodage à partir des images générées par le logiciel de saisie TELEform V9.0. Ce module d'encodage se présente sous la forme d'un logiciel permettant le chargement et la visualisation des productions des élèves (Figure 5.1). Après avoir identifié l'élève, le chercheur clique sur les différentes localisations des villes fournies par les élèves, en suivant un ordre pré-déterminé. En cliquant sur chaque position, les coordonnées [X ; Y] exprimées en nombre de pixels (26.89 pixels correspondant à 1 cm sur la carte, soit 14 km dans la réalité) s'enregistrent dans la colonne de droite du module.

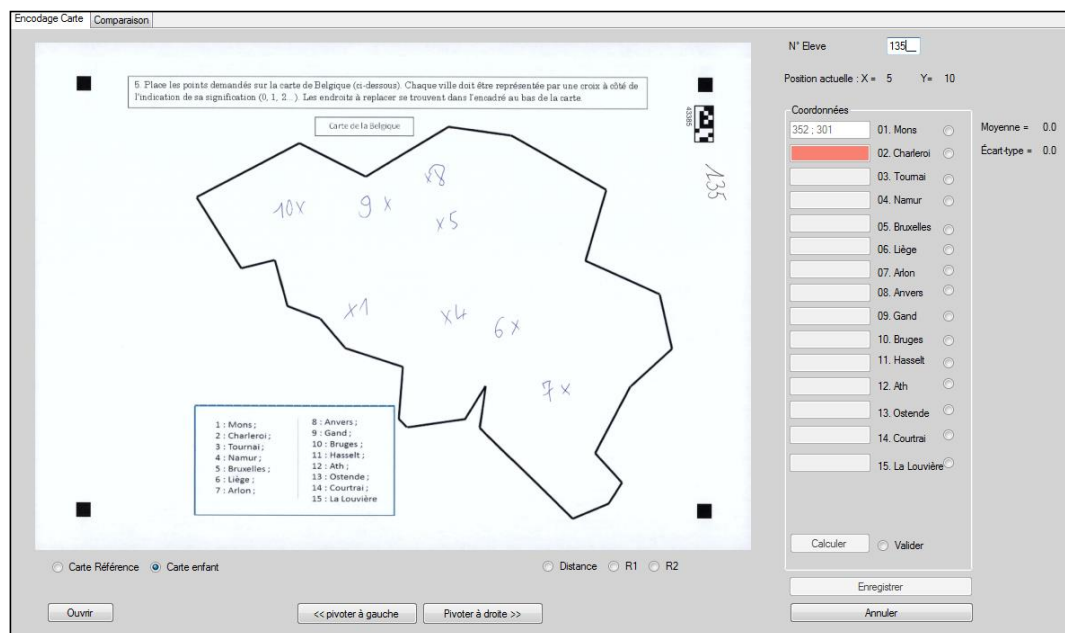


Figure 5.1 - Interface du module d'encodage permettant le recueil des coordonnées [X ; Y] (en nombre de pixels) des villes situées par les élèves

2.4 L'analyse des données

Selon Zgor (1990, cité par Benimmas, 1999), les localisations absolue et relative sont deux procédés de positionnement auxquels on peut avoir recours dans un espace donné. La localisation est dite relative lorsqu'elle permet de considérer une position donnée par rapport à d'autres phénomènes géographiques. La localisation d'un objet est absolue lorsqu'un système de référence basé sur la latitude et la longitude permet de situer un objet géographique sur la Terre. Dans le cadre de la présente étude, est considérée comme localisation relative, la distance séparant chaque ville par rapport aux autres villes. On peut alors imaginer que l'élève ait déplacé toutes les villes vers l'est, le sud, l'ouest ou le nord ou qu'il ait agrandi ou, au contraire, diminué l'échelle de la carte sans pour autant que les écarts relatifs entre les villes en soient affectés. Certes, dans ces cas-là, les villes sont mal situées par rapport aux frontières du pays mais, elles n'en restent pas moins bien situées entre elles, en toute cohérence. Le calcul des écarts relatifs permet donc d'apprécier si les distances séparant chaque paire de villes sont respectées. Par localisation absolue, nous entendons la localisation de chacune des villes par rapport à la localisation du point de référence correspondant, à savoir le placement correct du point situant la ville sur la carte. En résulte le calcul d'écarts absolus faisant état de l'écart entre les villes localisées par les élèves et les positions des points de référence.

Sur la base des coordonnées enregistrées dans le module d'encodage, plusieurs mesures de distances euclidiennes ont été calculées, soit en comparant les réponses des élèves aux positions des différentes villes sur la carte de référence, soit en comparant les distances entre les villes telles que les élèves les ont placées sur la carte. Calculés à partir du vecteur des distances entre positions exprimées et positions réelles, d'une part, et, d'autre part, du vecteur des rapports de chaque distance entre paires de villes positionnées par chaque élève et toutes les autres distances, des indices globaux (médianes, moyennes, sommes des écarts) destinés à apprécier les écarts relatifs et absolus de positionnement ont été créés. Contrairement au calcul d'écarts absolus, le calcul d'écarts relatifs permet l'obtention d'un indice qui rend compte de la cohérence de la localisation de chaque ville par rapport à toutes les autres, en ne prenant pas en considération certaines distorsions comme le changement d'échelle.

La mise en relation des indices d'écarts relatifs et absolus avec d'autres facteurs permettent d'analyser la façon dont les caractéristiques des villes (proximités géographique ou linguistique, par exemple) et celles des élèves (âge et apprentissages scolaires, par exemple) interviennent dans la constitution des cartes mentales chez les apprenants.

3. Résultats & interprétations

3.1 Les élèves ont-ils replacé les 15 villes demandées sur la carte muette ? Les différences sont-elles dépendantes des caractéristiques des villes ?

Sur les 363 documents analysés, seuls 141 d'entre eux (soit 38,7%) représentent l'ensemble des villes demandées sur la carte schématique de la Belgique. Dix-sept pourcents (17, 1%) en représentent 14 et un peu plus de 44% en situent moins de 14. Sans tenir compte de l'exactitude des réponses, ces pourcentages permettent tout d'abord de rendre compte de l'absence ou de la fragilité des représentations spatiales des élèves. En effet, moins de quatre élèves sur dix parviennent à placer les quinze villes demandées sur une carte muette.

La lecture du Tableau 5.3 permet de remarquer les pourcentages de non-réponses en fonction des villes à replacer. Si ce pourcentage de non-réponses pour la ville de Mons

(soit la ville où les élèves sont scolarisés) avoisine les 2%, il est également peu élevé pour la ville de Bruxelles (4,68%). Celui-ci augmente par contre considérablement pour d'autres villes telles que Courtrai (38, 84%), Ath (29, 2%) et Hasselt (25, 62%).

Tableau 5.3 - Tableau présentant les pourcentages d'élèves n'ayant pas placé les villes demandées et les caractéristiques de celles-ci

Villes à localiser	Pourcentages (%) de non-réponses (élèves n'ayant pas localisé la ville demandée)	Régions (W = wallonne ; F = flamande ; B-C = Bruxelles-Capitale)	Statut administratif (C = Capitale ; Ch-l = chef-lieu de Province ; Arr = arrondissement administratif)	Distance ville – Mons (km à vol d'oiseau)	Taille de la ville (nombre d'habitants 2010)	Surface (km ²)	Densité de population (nombre d'habitants par km ²)
Mons	1,93	W	Ch-l	0	91 759	146,53	626
Bruxelles	4,68	B-C	C	65	157 673	32,61	4 835
Liège	11,57	W	Ch-l	155	192 504	69,39	2 774
Anvers	13,5	F	Ch-l	115	483 505	204,51	2 364
Namur	13,5	W	Ch-l	82	108 950	175,69	620
Ostende	15,99	F	Arr	145	69 064	37,72	1 831
Arlon	16,8	W	Ch-l	165	27 763	118,64	234
Charleroi	17,08	W	Arr	36	202 598	102,08	1 985
Gand	17,91	F	Ch-l	85	243 366	156,18	1 558
Bruges	21,11	F	Ch-l	128	116 741	138,40	844
Tournai	21,21	W	Arr	47	69 043	213,75	323
La Louvière	24,9	W	La plus proche de Mons	18	78 071	64,24	1 215
Hasselt	25,62	F	Ch-l	145	73 067	102,24	715
Ath	29,2	W	Arr	30	28 026	126,95	221
Courtrai	38,84	F	Arr	85	74 911	80,02	936

En s'intéressant aux caractéristiques géographiques de chacune des villes, on remarque que certaines influencent plus que d'autres le pourcentage de non-réponses des élèves.

- Le fait que les villes à replacer se situent en Région wallonne ou flamande n'influence pas les pourcentages de non-réponses des élèves. En effet, parmi les six villes les moins placées par les élèves (Bruges, Tournai, La Louvière, Hasselt, Ath et Courtrai), trois sont localisées en Région wallonne et trois autres se situent en Région flamande.
- Les différences de distance séparant chaque ville à replacer de la ville de Mons n'influencent pas nécessairement les pourcentages de non-réponses des élèves. Ainsi, les villes comme Bruxelles, Liège et Anvers, situées loin de la ville de Mons, sont remplacées plus fréquemment que d'autres villes aussi éloignées (Hasselt ou encore

Arlon) tandis que des villes plus proches de Mons (telles que La Louvière ou Ath) sont quant à elles placées par un nombre moins important d'élèves. On ne peut donc affirmer que la distance séparant la ville à replacer de la ville de Mons influence les pourcentages de non-réponses des élèves.

- La taille de la ville (en nombre d'habitants) semble influencer le pourcentage d'élèves qui n'ont pas remplacé la ville. Les villes comptant moins d'habitants sont ainsi placées par moins d'élèves sur la carte.
- La superficie de la ville (en km²) n'influence que peu les pourcentages de non-réponses. Ce n'est pas parce que la ville a une superficie importante que celle-ci sera davantage remplacée sur la carte muette.
- La densité de population (nombre d'habitants/km²) influence davantage les pourcentages de non-réponses. Plus la densité est importante, plus le pourcentage d'élèves ayant localisé la ville demandée augmente. Pour exemple, les villes d'Ath, d'Arlon et de Tournai, d'une moins forte densité, sont moins remplacées par les élèves que les villes d'Anvers, de Liège et de Bruxelles ayant une plus forte densité de population.

Ces observations sont confirmées par une analyse de régression linéaire multiple. Les résultats obtenus en ayant recours à cette statistique permettent d'affirmer que seule la densité des villes a un effet positif et significatif sur le pourcentage de réponses fourni par les élèves (Coeff. Bêta = .654 ; $t = 3.020$; $p = .012$). Si la densité de la ville est un facteur prédictif pour sa localisation, on peut toutefois se demander si c'est cette notion au sens strict qui influence les connaissances de localisation. En effet, comme le soulignent Dalongeville & Huber (2002), le concept de densité est mal connu des élèves et, par ailleurs, ces derniers ne connaissent pas les densités spécifiques des 15 villes demandées. Ainsi, d'autres facteurs en lien avec le concept de densité pourraient davantage expliquer les écarts obtenus : on peut raisonnablement penser qu'une ville plus densément peuplée est souvent plus fréquentée et plus médiatisée qu'une ville moins densément peuplée. Des investigations complémentaires sur ce point pourraient être envisagées.

Les pourcentages de non-réponses étant influencés, en majeure partie, par la densité de population des villes, on peut donc penser que, sur la carte muette, les élèves sont parvenus à localiser les villes de plus fortes densités avec plus de précision que les villes de moins fortes densités. En conséquence, on peut formuler l'hypothèse selon laquelle : plus le pourcentage d'élèves ayant localisé une ville est élevé, plus précise sera la

représentation spatiale de cette ville. De ce point de vue, les villes comme Mons, Bruxelles, Liège devraient donc être situées par les élèves avec davantage de précision que d'autres villes, telles que Courtrai, Ath et Hasselt, moins souvent positionnées sur la carte. Pour vérifier cette hypothèse, les écarts absolus entre chaque ville localisée par l'élève et sa position de référence ont été calculés. La Figure 5.2 représente la dispersion de ces écarts pour chacune des villes qu'il fallait situer.

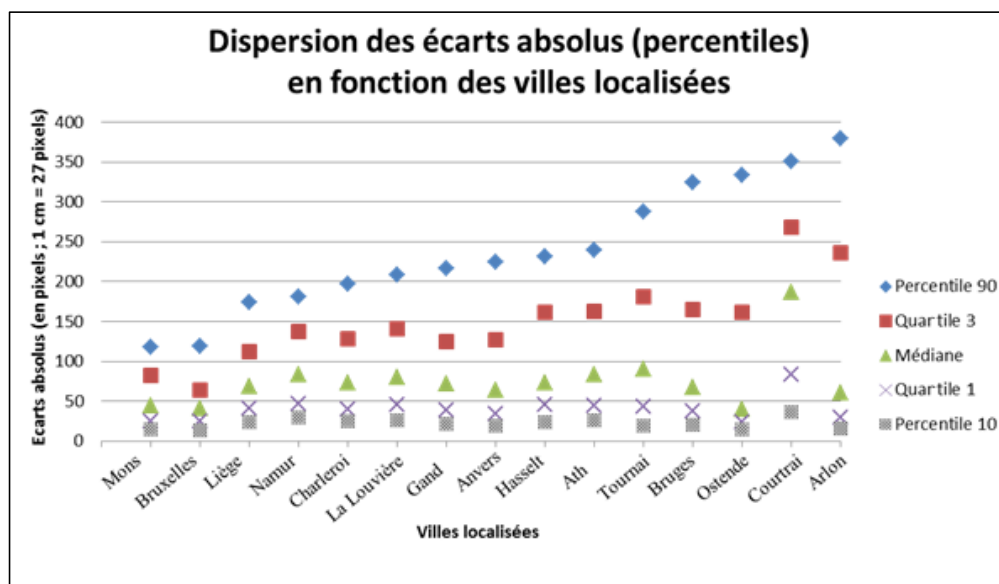


Figure 5.2 - Représentation graphique de la dispersion des écarts absolus maximum par quartiles ou percentiles en fonction des villes localisées (N = 363 élèves)

Le graphique proposé ci-dessus (Figure 5.2) rend visuellement compte de l'inégale précision de la localisation des villes par rapport à leur emplacement de référence. Les 10% d'erreurs les plus importants (caractérisés par des écarts absolus plus importants) sont représentés par le Percentile 90 (P. 90), les 25% d'erreurs les plus importants sont, quant à eux, représentés par le Quartile 3 (Q. 3). Les percentiles 10 (P. 10) et Quartile 1 (Q. 1) représentent respectivement les 10% et les 25% d'erreurs d'écarts absolus les moins importants.

Un des premiers constats qui peut être fait est que les écarts absolus obtenus à partir de la lecture des P. 90 pour les villes de Mons et Bruxelles sont plus faibles que pour les autres villes (Mons : P. 90 = 182,7 ; Bruxelles : P. 90 = 184,3). Les élèves localisent donc avec plus de précision ces deux villes en comparaison à toutes les autres. Alors que les profils de distribution des écarts absolus pour les villes de Mons et Bruxelles présentent de fortes similitudes, on remarque cependant que la ville de Bruxelles

(Q. 3 = 64,3) est localisée avec plus de précision par rapport à la ville de Mons (Q. 3 = 82,6). Ce résultat est illustré ci-dessus. En ce qui concerne Liège, troisième ville à être localisée de manière précise par les élèves, les erreurs de localisation sont plus importantes (P. 10 = 23,7 ; Q. 1 = 40,9 ; M. = 68,1 ; Q. 3 = 112,6 ; P. 90 = 173,6) que pour les villes de Mons et de Bruxelles.

Exception faite pour la ville de Courtrai, il est également intéressant de noter que les erreurs d'écarts les moins importantes (P. 10) sont du même ordre pour l'ensemble des villes. Un des facteurs pouvant expliquer les différences de performances est la proximité de la plupart de ces villes avec des repères spatiaux. Pouvant être de nature différente (frontière nationale, direction cardinale, proximité d'un élément naturel...), ces repères permettent aux élèves, à condition de les avoir préalablement identifiés, de situer avec une plus forte précision les villes en question. Ainsi, plus la ville à localiser est proche d'un ou de plusieurs repères (la côte belge pour Ostende ; l'extrême sud et la frontière luxembourgeoise pour la ville d'Arlon, le nord et la frontière avec les Pays-Bas pour Anvers...), plus les élèves qui ont connaissance de ces repères s'en servent pour localiser précisément les villes demandées.

Les Figures 5.3, 5.4, 5.5 et 5.6 permettent d'illustrer quelques-uns des éléments qui viennent d'être présentés. Sont ici fournies les représentations graphiques des réponses des 363 élèves interrogés (pour autant que ces derniers aient situées les villes en question) pour quatre des quinze villes devant être localisées. La présentation de quatre « patterns » différents permettent de rendre compte de l'inégale dispersion des localisations en fonction des villes. Pour la ville de Bruxelles (Figure 5.3), la dispersion des localisations est assez faible. En effet, même si une trentaine d'élèves ont localisé Bruxelles sur l'ensemble du territoire belge, la majorité des élèves ont localisé cette ville autour de son emplacement de référence. En ce qui concerne la ville de Mons (Figure 5.4), si celle-ci est localisée dans le sud-sud-ouest de la Belgique, on constate néanmoins une plus forte dispersion des localisations proposées par les élèves, si on les compare à celles fournies pour Bruxelles. Pour ce qui est de la localisation de la ville d'Ath, seule une minorité d'élèves localise cette ville dans le sud-ouest de la Belgique (Figure 5.5) Enfin, pour la quatrième ville, Courtrai, la dispersion des localisations est si étendue qu'il en devient difficile de déterminer où se trouve cette ville en se basant sur les réponses des élèves (Figure 5.6).

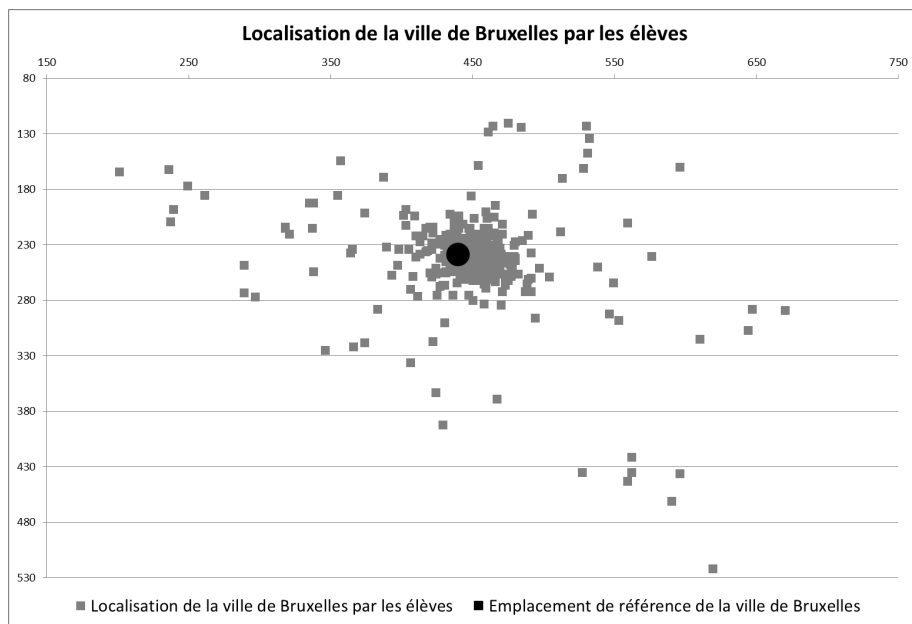


Figure 5.3 - Localisation de la ville de Bruxelles

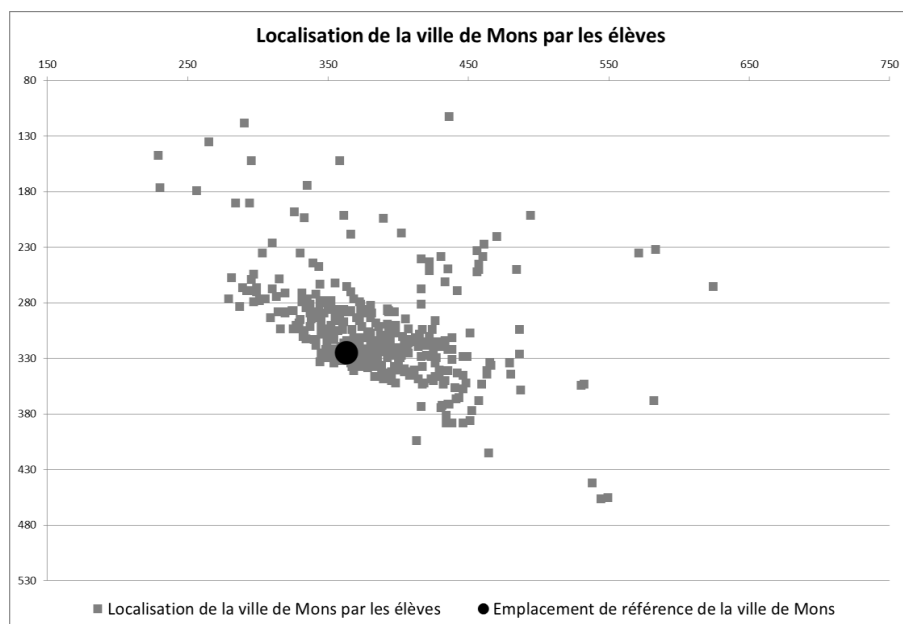


Figure 5.4 - Localisation de la ville de Mons

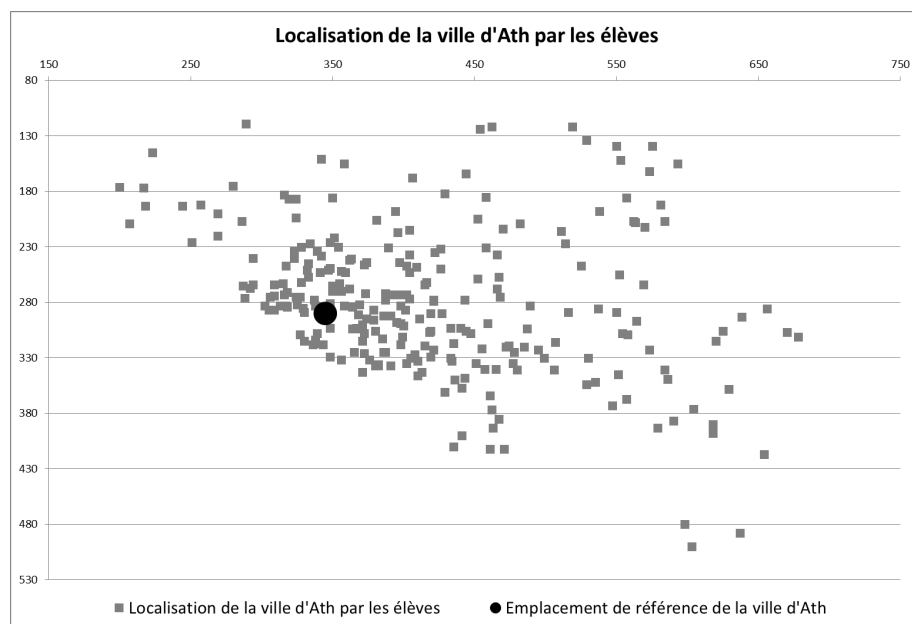


Figure 5.5 - Localisation de la ville d'Ath

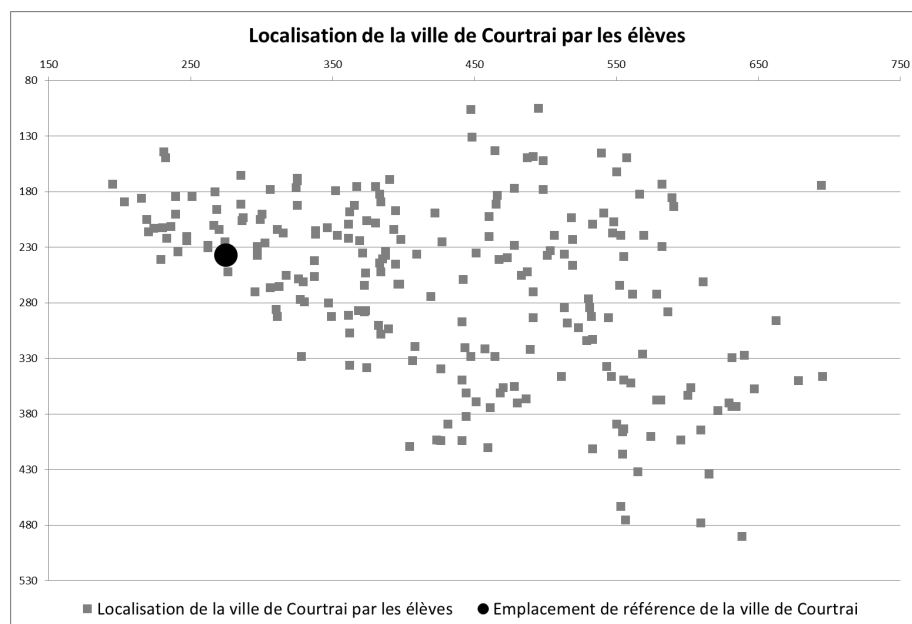


Figure 5.6 - Localisation de la ville de Courtrai

Les résultats permettent de confirmer, en partie, l'hypothèse précédemment formulée. Il apparaît, en effet, que les pourcentages de non-réponses de localisation des villes vont de pair avec la précision des représentations spatiales des villes. Ainsi, les villes de Mons et de Bruxelles, remplacées par plus de 95% d'élèves, sont localisées, sur la carte, proches de leur emplacement réel. Le constat inverse est également valable puisque la

localisation de la ville de Courtrai (uniquement remplacée par 38,84% d'élèves) a posé davantage de difficultés. Le constat ne s'applique cependant pas pour toutes les autres villes. Alors qu'elle est remplacée par plus de 83% d'élèves (16,8% de non-réponses), la ville d'Arlon est celle qui est localisée avec le moins de précision.

3.2 L'âge des élèves est-il un facteur influençant les connaissances et représentations spatiales ?

Compte tenu des référentiels, et donc des apprentissages scolaires prévus, on peut s'attendre à ce que les élèves âgés entre 12 et 15 ans élaborent une carte mentale plus précise que les élèves âgés de 8 à 11 ans. Pour vérifier l'hypothèse selon laquelle le niveau de performance des élèves augmente avec l'âge, l'analyse des données a d'abord été réalisée sur les écarts relatifs.

Comme mentionné précédemment, le calcul des écarts relatifs permet d'obtenir un indice qui rend compte de la cohérence de la localisation de chaque ville par rapport à toutes les autres, sans prendre en compte un certain nombre de distorsions de l'ensemble de la carte (changement d'échelle, rotation...). Au plus cet indice est proche de zéro, meilleures sont, en termes de localisation relative, les performances des élèves. Le calcul de moyennes des écarts relatifs pour chacun des âges concernés (Figure 5.7) permet de constater une diminution de ces écarts entre 10 ans et 14 ans, même si ceux-ci ont tendance à augmenter à 12 ans. En d'autres termes, les performances des élèves concernant la localisation relative des villes est meilleure chez les élèves âgés de 13 ans et 14 ans que chez des élèves plus jeunes. Cette différence de moyennes des écarts relatifs en fonction de l'âge est confirmée du point de vue de la statistique inférentielle ($F(7,355) = 2,550, p .014$) comme étant significative.

Pour ce qui est des écarts absolus, un constat similaire à celui effectué précédemment peut être fait. Ainsi, les moyennes des écarts absolus diffèrent en fonction de l'âge des élèves (Figure 5.8). De 8 ans à 10 ans, les écarts calculés sont plus importants. C'est à partir de 11 ans que ces écarts se réduisent et se stabilisent. Les élèves âgés entre 8 et 10 ans commettent donc davantage d'erreurs de précision dans la localisation absolue des villes que les élèves âgés de 11 ans et plus. La différence de moyennes des écarts absolus en fonction de l'âge est significative ($F(7,355) = 24,362, p .000$).

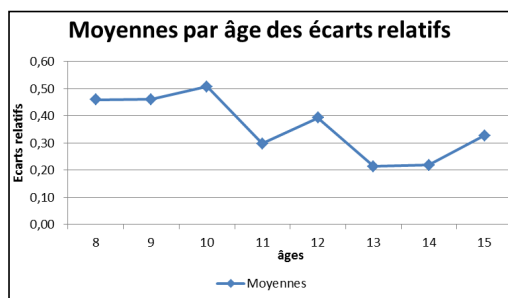


Figure 5.7 - Représentations graphiques des moyennes des écarts relatifs calculés par âge

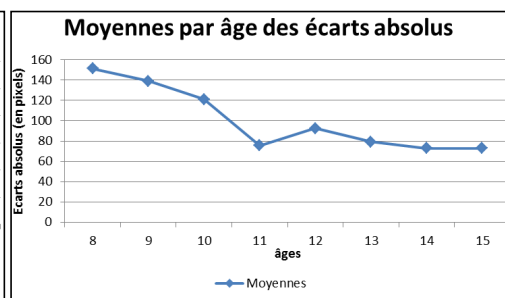


Figure 5.8 - Représentations graphiques des moyennes des écarts absolus calculés par âge

En comparant les pourcentages de non-réponses obtenues par tranches d'âges (Figure 5.9), on s'aperçoit que, d'une part, les pourcentages de non-réponses sont globalement plus élevés pour les élèves plus jeunes (8-9 ans) et que, d'autre part, la localisation de certaines villes semble poser des difficultés aux élèves quel que soit leur âge.

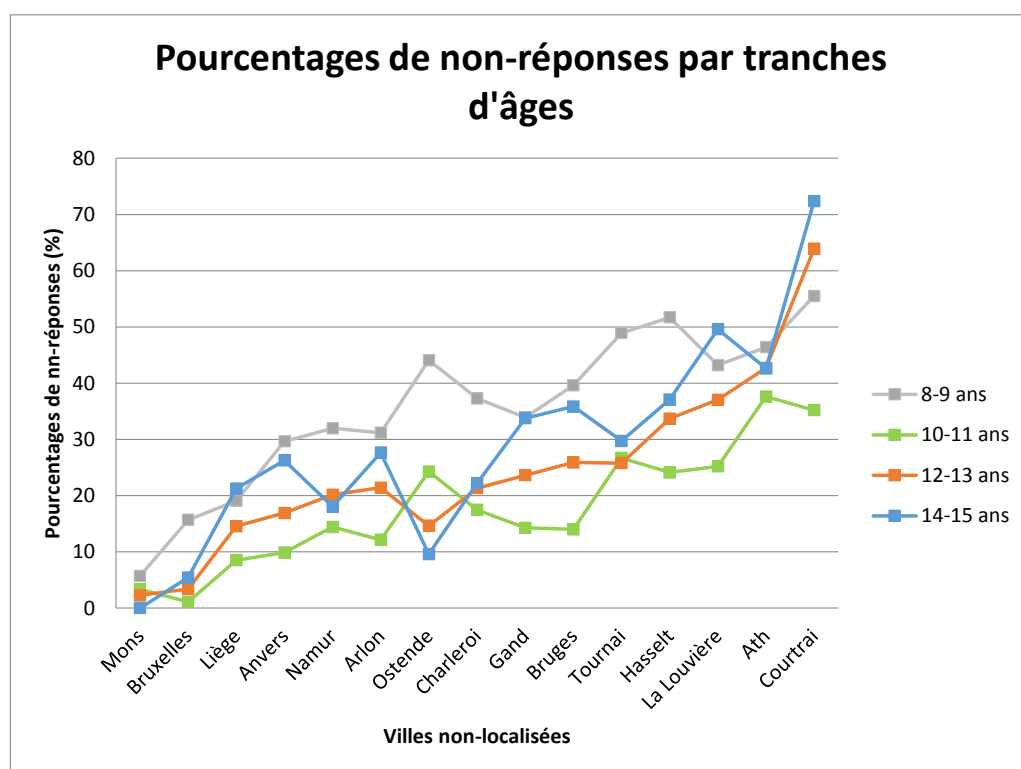


Figure 5.9 - Graphique représentant le nombre d'élèves (%), par tranches d'âges, n'ayant pas localisé les villes demandées

Présentant les percentiles 10 et 90 pour chaque tranche d'âge, le graphique suivant (Figure 5.10) rend compte de la dispersion des écarts absolus en fonction des âges ciblés.

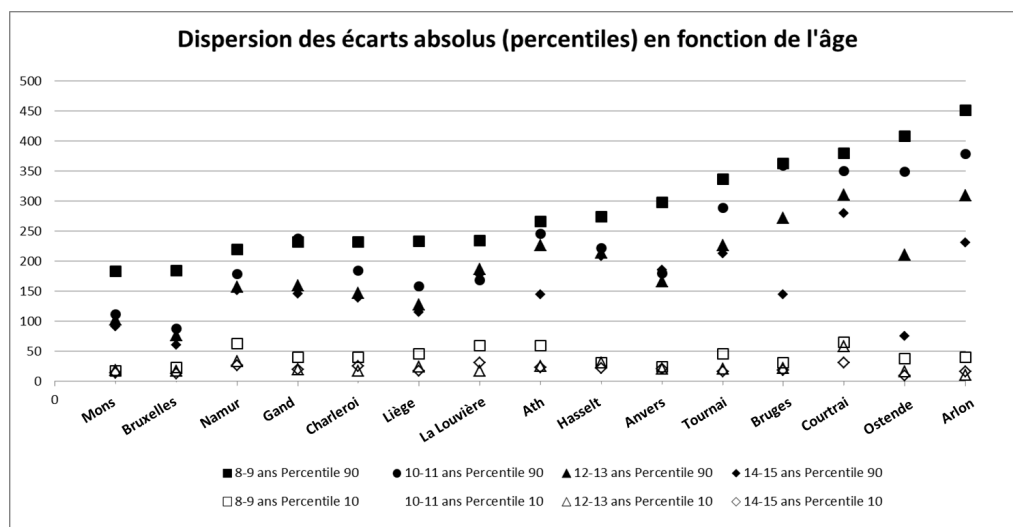


Figure 5.10 - Représentation graphique de la dispersion des écarts absolus pour les percentiles 10 et 90 chez les élèves de 8-9 ans ; 10-11 ans ; 12-13 ans ; 14-15 ans (N = 363 élèves)

La lecture de la Figure 5.10 permet de constater que les performances des élèves âgés de 8 à 9 ans sont globalement plus faibles que les performances des élèves plus âgés. La dispersion des données pour cette tranche d'âge, mise en évidence par le percentile 90 (carré noir), est plus forte par rapport aux percentiles 90 des autres tranches d'âge. Cependant pour le premier décile, les performances de l'ensemble des élèves interrogés sont toutes inférieures à 65 pixels (ce qui équivaut à moins de 34 km). En d'autres termes, les premiers 10% des élèves de chaque tranche d'âge sont parvenus à situer, avec une marge d'erreur de moins de 34 km, les villes demandées sur la carte muette. En outre, les villes wallonnes (exceptée la ville d'Arlon) sont mieux situées que les villes flamandes (exceptée la ville de Gand). Si les difficultés à localiser certaines villes restent les mêmes quel que soit l'âge des élèves, les plus jeunes élèves localisent cependant les différentes villes avec moins de précision que ne le font les adolescents âgés de 12 à 15 ans.

4. Conclusions de l'enquête : entre connaissances géographiques et représentations spatiales

L'objectif poursuivi par la réalisation de cette enquête était d'évaluer, dans une perspective développementale, la capacité des élèves à localiser 15 villes belges sur une carte muette présentant des repères spatiaux. Plusieurs constats peuvent être tirés de cette enquête. Tout d'abord, la localisation de villes sur une carte muette apparaît être un exercice difficile pour la majorité des élèves, et ce indépendamment de leur âge. En effet, il est apparu que moins de 40% des élèves interrogés ont localisé les 15 villes demandées. Parmi ces élèves, seule une faible proportion (environ 10% de chaque tranche d'âge) est parvenue à situer ces villes sur une carte muette avec une marge d'erreur en deçà de 35 km par rapport à la localisation réelle de la ville. En d'autres termes, un nombre restreint d'élèves interrogés dispose d'une représentation assez précise de leur espace géographique national. Parallèlement à ce constat, des différences de performances se marquent en fonction des villes à localiser. Ainsi, si la localisation des villes de Mons et de Bruxelles ne pose que peu de difficultés, il n'en est pas de même pour d'autres villes telles que Courtrai, Arlon, Bruges, Ostende... Il a également été montré que les villes de forte densité de population sont situées par un nombre plus important d'élèves. Les villes flamandes sont globalement localisées avec moins de précision que les villes wallonnes et ce, quel que soit l'âge des élèves. Contre toute attente, les villes les plus proches de Mons (La Louvière et Charleroi) ne sont pas mieux localisées que d'autres villes (comme Namur), alors que cette compétence apparaît dans les programmes d'études de cycle 3 et qu'elle doit donc être exercée à partir de 8 ans.

Concernant les performances, il a été mis en évidence des différences significatives selon les âges. Si les plus jeunes élèves parviennent à situer certaines villes (Mons, Bruxelles...), une nette amélioration des performances a été constatée entre 10 et 11 ans. Cette amélioration, touchant à la fois la localisation dite absolue et la position relative des villes entre elles, peut être expliquée par le fait que les apprentissages initiés dès l'âge de 8-9 ans sont progressivement acquis pour n'être mieux maîtrisés qu'à partir de l'âge de 11 ans. Pour ce qui est des élèves plus âgés, on remarque une stagnation voire une diminution des résultats en fonction de l'âge.

Si la localisation de villes peut sembler être un exercice banal, celui-ci a permis de mettre en évidence un certain nombre de choses qui, *a priori*, est négligé lors des apprentissages.

Alors que les exercices des localisations sont prévus dans les programmes d'études dès le troisième cycle de l'enseignement fondamental (à partir de 8 ans), au début de l'enseignement secondaire, la place est laissée à la compréhension et à l'analyse des relations entre l'homme et le milieu dans lequel il évolue. A en croire les programmes d'études, il semblerait donc que les repères spatiaux sont acquis au terme de l'enseignement fondamental et que, la suite des apprentissages peut avoir lieu sur cette base. Pourtant, il apparaît que les repères géographiques des élèves de secondaire sont fragiles. Dans certains cas, les connaissances sont erronées et l'on sait toute la difficulté à transformer, sur le long terme, les conceptions préalables sous la forme de cartes mentales fixées (Jarrosso, 1992 ; Treagust & Duit, 2008). Si, en Belgique comme ailleurs, la géographie ne doit pas se limiter à une approche descriptive (André et *al.*, 1989), il convient toutefois de prendre en compte les faiblesses des représentations spatiales des élèves, lorsque celles-ci sont identifiées, comme nous l'avons fait ici. Cela permet de s'assurer que chacun des élèves dispose des repères spatiaux nécessaires pour poursuivre les apprentissages et leur donner sens ou, à défaut, d'inviter les enseignants à (re)préciser ces repères en préalable aux démarches d'analyse et de compréhension préconisées dans la suite des apprentissages. Cette enquête permet également d'affirmer le fait que la géographie ne se résume pas à la nomenclature des villes et des chefs-lieux. Certes, les performances des élèves âgés de 11 ans sont meilleures après que les apprentissages aient eu lieu ; cependant, on remarque que les plus jeunes élèves parviennent à situer certaines villes (Mons, Bruxelles...), alors que les apprentissages scolaires sont justes initiés, signes que des cartes mentales sont élaborées avant tout apprentissage. De plus, si la localisation des villes n'était qu'un exercice de mémorisation de l'espace euclidien et de restitution d'une image objective, pourquoi les élèves localisent-ils moins bien Arlon que Namur ou Liège ? Ne sont-ils pas tous les trois des chefs-lieux ? Les éléments issus de cette enquête permettent d'affirmer qu'il existe une interférence des représentations avec les connaissances et que les connaissances géographiques sont également déterminées par d'autres paramètres. Parmi ces paramètres, la densité de population se révèle être un élément important. Si le concept en tant que tel n'est pas forcément connu ou compris des élèves, il détermine cependant la popularité d'une ville (une ville plus densément peuplée est davantage fréquentée et, de fait, plus souvent médiatisée). Les élèves se représentent ainsi l'espace géographique belge en se basant sur l'espace qu'ils vivent et perçoivent (de manière directe ou indirecte) au quotidien. Il serait réducteur de considérer les exercices de localisation comme une simple épreuve de restitution de connaissances géographiques.

La principale limite de cette enquête, qui constitue de fait une perspective, est de ne pas avoir considéré les habitudes de déplacement des élèves sur le territoire belge. Il aurait également été intéressant d'interroger les élèves sur les connaissances des villes acquises à l'extérieur de l'école (ex. as-tu déjà entendu parler de la ville de X en dehors de l'école ? Quand ? Par quel biais ? Regardes-tu le bulletin météorologique ? etc.). Parmi les perspectives qu'offre cette étude, il pourrait être opportun de répliquer ce type d'enquête en l'adaptant à d'autres régions de Belgique (ou d'autres pays) afin remarquer si les distorsions de l'espace dépendent, par exemple, de la situation géographique initiale des élèves. Aussi, à l'image de ce qu'a réalisé Saarinen (1988) en faisant dessiner des cartes du monde à différentes personnes, ce type d'enquête pourrait également permettre de rendre compte de l'influence des décisions, débats voire de réalités socio-économico-politiques ou encore culturels sur les représentations spatiales des élèves (cf. la localisation de Bruxelles, la localisation des villes wallonnes par des élèves flamands...). Enfin, il pourrait être pertinent de répliquer cette enquête en multipliant les repères spatiaux ou, au contraire, en proposant aux élèves de situer les 15 villes précitées sur une feuille blanche (seuls les écarts relatifs pourront ainsi être considérés).

CHAPITRE 6 - LES EMPREINTES ET OPERATIONS DE

SECTION DE SOLIDES

Chapitre 6 **Les empreintes et opérations de section de solides**

Dans le but d'évaluer, chez les élèves, certaines habiletés spatiales dans le domaine des mathématiques, une série d'expérimentations a été réalisée à partir d'un matériel concret, composé de plusieurs solides de tailles différentes⁵. Le présent chapitre décrit l'une de ces expérimentations. Celle-ci porte sur une habileté spatiale difficilement acquise par les élèves, à savoir, la « visualisation spatiale ». Pour rappel, Lohman & Snow (1979) et Hegarty & Waller (2004) définissent la visualisation spatiale comme la capacité à imaginer ou à anticiper l'apparence d'objets complexes après les avoir transformés. Directement inspirée de travaux piagétiens peu connus (Piaget & Inhelder, 1972), l'expérimentation proposée ici met à l'épreuve cette habileté de visualisation spatiale au travers d'exercices portant sur la représentation d'empreintes et de sections de solides. Menée auprès de 274 élèves âgés de 8 à 14 ans, les résultats obtenus permettent, d'une part, de rendre compte de différences de performances en fonction de l'âge et, d'autre part, de mettre en évidence des difficultés récurrentes rencontrées chez les élèves et ce, indépendamment de leur âge.

1. Introduction

Comme cela a été mis en évidence lors de l'analyse des EENC (cf. chapitre 4), la résolution d'exercices de visualisation spatiale portant sur les empreintes pose difficultés à plus de cinq élèves sur dix en 2^e année primaire (questions 7, 8, 9 et 10) mais aussi à près de deux élèves sur dix en 2^e année secondaire (question 21). En ce qui concerne la section de solides, seuls 32% des élèves de 2^e année du secondaire parviennent à déterminer le résultat d'une section particulière dans un cube (question 23).

⁵ Les résultats de ces expérimentations ont fait l'objet de communications orales lors de congrès scientifiques et d'une présentation par poster à l'occasion d'une manifestation scientifique.

L'expérimentation, décrite dans ce chapitre, porte sur deux exercices de visualisation spatiale : la représentation d'empreintes de solides (dessin de l'empreinte du solide) et l'anticipation de la forme que prendra la surface de section d'un solide (dessin de la forme de la section simulée sur le solide). Alors que l'ensemble des exercices proposés dans le cadre des EENC porte exclusivement sur des représentations de solides et ne s'effectue jamais à partir de la présentation et de la manipulation de solides réels, une situation intermédiaire est ici proposée par le biais de l'expérimentation menée. Contrairement aux exercices de type « papier-crayon » issus des EENC, la présente expérimentation amène les élèves à observer quatre solides réels (cube, cône, sphère, cylindre) à partir desquels sont proposés les deux exercices décrits précédemment (dessin d'empreintes de solides et dessin de la forme de trois sections de solides). De façon à ne pas trop s'éloigner des situations présentées dans le cadre des évaluations externes non-certificatives et de l'expérience piagétienne qui a inspiré cette expérimentation, il a été choisi de ne pas faire manipuler les solides par les élèves.

2. Retour sur l'expérience piagétienne

Dans leur compte-rendu d'expériences, Piaget & Inhelder (1972) décrivent les opérations de section comme étant communes à la « géométrie des objets » et à la « géométrie des points de vue » (p. 286). En d'autres termes, ils considèrent que les exercices de sections de solides peuvent s'apparenter à la géométrie euclidienne (on parle alors de « technique euclidienne » au sens où les opérations portent sur des objets solides envisagés en eux-mêmes, en 3D, ou sur des objets dont les surfaces sont distribuées dans l'espace euclidien) et à la géométrie projective (on parle alors de « technique projective » au sens où les sections ne portent plus sur l'objet même mais sur des faisceaux de droites ou des ombres obtenus à partir des objets).

Dans leur expérience, les auteurs privilégient la technique euclidienne de sections de solides pour deux raisons. D'une part, celle-ci apparaît être la moins artificielle et, d'autre part, elle implique, de toute façon, l'intervention de sections correspondantes à des changements de points de vue ou des projections dans la mesure où elle est accompagnée de représentations dans le plan. Les opérations de section demandées aux enfants âgés de 4 à 12 ans portent sur plusieurs solides (le cylindre, le prisme, le parallélépipède, la sphère et le cône) et structures plus complexes (des anneaux, un cornet, une hélice...). En fonction des solides ou structures complexes considérés, des opérations de section différentes sont demandées. Ainsi, le cylindre, le prisme, le

parallélépipède et la sphère sont sectionnés transversalement (plan parallèle à la base) et longitudinalement (parallèle au côté du solide). Pour le cône, quatre coupes sont demandées : une coupe transversale (parallèle à la base), une coupe perpendiculaire à la base, une coupe oblique des côtés du cône et une coupe portant sur le côté du cône et la base (dont il résulte, selon Piaget & Inhelder (1972), une parabole). En ce qui concerne les structures complexes, seules des coupes transversales ont été demandées. L'expérience piagétienne, réalisée individuellement avec chaque enfant, se déroule en deux temps. Dans un premier temps, un solide en pâte à modeler ainsi qu'un couteau sont présentés à l'enfant. Avant de procéder à la section, l'expérimentateur demande à l'enfant de prévoir la forme que prendra la surface de la section en la dessinant (il positionne alors le couteau de telle manière à ce que l'enfant comprenne la section qui sera réalisée). Dans un second temps, l'expérimentateur propose à l'enfant de reconnaître parmi plusieurs dessins, la forme de la section. Les résultats de l'expérience sont qualitatifs et permettent, de par les exemples fournis et déclarations des enfants retranscrites par l'expérimentateur, de se rendre compte des erreurs systématiques commises à des « stades » donnés. Ainsi, il apparaît que les plus jeunes enfants (âgés de 4 ans à 6,5 ans environ) ne parviennent pas à répondre correctement aux questions posées étant donné l'indifférenciation des points de vue (l'enfant juxtapose à la fois l'image du solide coupé vu de l'extérieur à celle du solide entier vu de l'intérieur) ainsi que des actions (l'enfant n'est pas capable de différencier le mouvement de sectionnement de la section en tant que telle). Dès l'âge de 7 ans, il est remarqué que l'enfant commence progressivement à différencier les points de vue et les actions. Après avoir dépassé le niveau des intuitions topologiques élémentaires (caractérisé par une indifférenciation des points de vue et des mouvements), c'est la représentation euclidienne des changements de position qui amène à imaginer les premières projections et, dans le même temps, ce sont les projections acquises qui permettent de différencier et de représenter des changements de position. Dans les opérations de section, cette différenciation s'avère cruciale et son acquisition permet la résolution des exercices de section demandés. Concrètement, avant toute différenciation, il est remarqué que les représentations de l'enfant sont dominées par les rapports topologiques de voisinages et d'enveloppements (l'enfant représente le cylindre en un rectangle comportant, à chacune des extrémités, deux cercles adjacents ou inscrits). Les enfants, un peu plus âgés, représentent la section en tant que mouvement (déplacement de la lame, on parle alors d'intuition euclidienne) en dessinant une droite coupant transversalement le rectangle (l'enfant dessine d'ailleurs l'empreinte de la section transversale du cylindre

comme un demi-rectangle). Les enfants ayant acquis davantage de maturité passeront ensuite de l'intuition euclidienne (représentation d'une droite) à la représentation projective de la section (représentation d'une droite incurvée qui épouse la forme du solide sectionné). Enfin, vers l'âge de 8 ans, les opérations de section sont comprises et peuvent faire l'objet de représentations.

3. Questions de recherche

Comme cela a été montré au travers de la présentation de questions provenant des évaluations externes non-certificatives (cf. chapitre 4), l'ensemble des exercices proposés dans les EENC porte sur des solides représentés graphiquement, ce qui peut constituer une source de difficultés supplémentaires pour les élèves. Contrairement aux EENC, l'expérimentation menée ici a pour but de proposer des exercices de visualisation spatiale en présentant, aux élèves, de réels solides en 3 dimensions.

Concernant les types d'exercices proposés, en plus d'interroger les élèves sur les sections de solides comme l'ont fait Piaget & Inhelder (1972), il a été choisi de questionner les élèves sur les empreintes de solides non sectionnés en portant une attention particulière au type de solide considéré (cube, cône, sphère et cylindre). Pour rappel, les données issues des EENC ne contiennent que peu d'informations concernant l'acquisition de cette habileté de visualisation spatiale. En effet, les évaluations réalisées auprès des classes de 2^e année du primaire et de 2^e année du secondaire ne comportaient que quelques questions relatives à cette habileté et l'évaluation destinée aux classes de 5^e année du primaire n'en comportait aucune. Pour ce qui est de la section de solides, une seule question était posée aux élèves de 2^e année du secondaire (cf. chapitre 4).

Alors que les données issues des EENC ne fournissent qu'une information partielle concernant l'acquisition de cette habileté de visualisation spatiale et que les données qualitatives de l'expérimentation piagétienne rendent compte, pour certaines opérations de sections demandées, de difficultés précises d'un nombre restreint d'élèves à un âge donné, mais ne permettent pas d'obtenir une vision globale du niveau de performances des élèves en fonction des solides ou des exercices de section considérés, la présente expérimentation a été réalisée. Menée à plus large échelle et effectuée de façon plus systématique (quatre empreintes demandées pour quatre solides différents), la présente expérimentation permet de répondre aux quatre questions suivantes :

- Y a-t-il des différences de performances en termes de scores moyens (tous exercices confondus) en fonction de l'âge des élèves ?
- Y a-t-il des différences de scores moyens des exercices d'empreintes et de sections de solides (tous solides confondus) en fonction de l'âge des élèves ?
- Y a-t-il des différences de scores moyens relatifs aux solides géométriques considérés (toutes empreintes et sections de solides confondues) en fonction de l'âge des élèves ?
- Sur la base des résultats des élèves, quelle classification hiérarchique des exercices de visualisation spatiale est-il possible de définir ?
- Quelles sont les erreurs-types commises par les élèves ?

4. Échantillon

Deux-cent septante-six élèves ($N = 276$ élèves) âgés de 8 à 15 ans, issus de cinq écoles montoises, ont participé à cette expérimentation. Le choix des participants a été effectué sur la base de leur appartenance à un établissement scolaire dont les caractéristiques socio-économiques sont situées dans la moyenne (rangs 8 à 11 dans une distribution qui comporte 20 rangs couvrant chacun 5% de l'effectif total). Les effectifs par âge sont présentés dans le Tableau 6.1. Sur l'ensemble des élèves interrogés, seuls deux élèves n'ont pas remis leur copie (départ en cours d'expérimentation).

Tableau 6.1 - Répartition du nombre d'élèves en fonction de leur âge

Ages	Effectifs	Pourcentages des effectifs
8 ans	44	16,1
9 ans	40	14,6
10 ans	37	13,5
11 ans	36	13,1
12 ans	41	15,0
13 ans	40	14,6
14 ans	36	13,1
Total	274	100,0

5. Description du matériel et de l'expérimentation

5.1 Le matériel utilisé

Pour l'expérimentation, quatre solides différents, présentés en trois dimensions, sont utilisés. Le premier solide est un cube de couleur rouge, de dimensions 40 cm x 40 cm. Le deuxième solide est un cône de couleur verte dont la circonférence de la base mesure 40 cm et la hauteur 40 cm. Le troisième solide est une sphère de couleur bleue, d'une circonférence de 40 cm. Le quatrième solide est un cylindre de couleur orange dont les dimensions sont de 40 cm pour la hauteur et 40 cm de circonférence. L'objet tranchant utilisé pour simuler la section est une large lame de 50 cm de longueur.

Pour la retranscription des réponses, les élèves disposent de quatre feuilles de papier en format paysage A4 et de deux feuilles de brouillon. Chacune des feuilles contient les emplacements spécifiques pour les réponses aux questions demandées.

Pour les exercices réalisés avant l'expérimentation, l'expérimentateur a besoin d'une bouteille et d'un petit plateau contenant un peu d'encre.

5.2 Déroulement de l'expérimentation (opérations euclidienne de la section et représentations projective du solide)

Réalisée en session collective, l'expérimentation est précédée d'exercices de compréhension afin que tous les élèves comprennent bien ce qu'est une « empreinte » et ce qu'il faut entendre par « coupe »⁶ (ou section) du solide. À ce moment, l'expérimentateur s'assure également du fait que les élèves comprennent que le résultat attendu sur la feuille de papier est le dessin de la forme de la surface de la coupe. Pour ce faire, trois exercices préalables sont réalisés. Afin de faire (re)découvrir la notion d'empreinte, l'expérimentateur donne l'exemple des empreintes de la main et du pied (main et pied trempés dans de l'encre, donnent des empreintes différentes). Pour faire comprendre la notion de « section », de « surface » et le résultat attendu de chaque section, l'expérimentateur fournit un exemple en prenant pour objet une bouteille. Sans montrer le résultat de la section (cette fois-ci réellement effectuée sur l'objet), l'expérimentateur explique qu'il s'agit d'imaginer la forme de la surface de la coupe

⁶ Dans le but d'être mieux compris par les élèves, le mot « section » est remplacé par « coupe ». Les deux termes sont ici utilisés sans distinction.

effectuée. Il explique, avec des gestes, qu'il faut, par exemple, imaginer que l'on trempe dans de l'encre (petit plateau avec de l'encre) la base inférieure de la partie supérieure sectionnée (il désigne la partie en question) puis, qu'on la dépose sur une feuille de papier. L'expérimentateur ne montre pas la forme qui apparaît sur la feuille de papier. Suite à cela, l'expérimentateur répond ensuite aux éventuelles questions des élèves et leur indique que des exercices identiques, avec des solides géométriques en trois dimensions, vont leur être proposés.

Une fois la séance d'exercices terminée, l'expérimentation peut débuter. Des solides sont successivement présentés aux élèves. Il est demandé à ces derniers de dessiner les empreintes et les formes des surfaces de trois sections simulées (transversale, longitudinale ou perpendiculaire et oblique) sur chacun des solides.

Concrètement, l'expérimentateur présente le cube aux élèves et le manipule au-devant de la classe (l'expérimentateur veille à ne pas montrer aux élèves la « base » du cube). Ceux-ci disposent de quelques secondes pour l'observer. L'expérimentateur donne ensuite la consigne suivante : « Voici un cube. Imaginez que je trempe la base de ce cube dans de l'encre et qu'ensuite je le dépose sur une feuille blanche. Quelle sera l'empreinte laissée par ce cube ? ». L'expérimentateur demande alors aux élèves de dessiner, à main levée, l'empreinte laissée par le cube dans l'encadré adéquat sur la feuille de papier (feuille « cube », encadré supérieur gauche intitulé « empreinte du cube ») et de préciser le nom de la forme qui a été dessinée.

L'expérimentateur explique aux élèves qu'un autre exercice leur est à présent demandé. En reprenant le cube, l'expérimentateur donne la consigne suivante : « Je reprends le cube. Imaginez à présent que je prends ce grand couteau et que je coupe le cube comme ceci (il pose la lame sur une des faces du cube, parallèlement à sa « base »). Quelle sera la forme de la surface de la coupe si je coupe le cube comme ceci ? » L'expérimentateur demande alors aux élèves de dessiner, à main levée, la forme de la surface de la coupe dans l'encadré adéquat sur la feuille de papier (feuille « cube », encadré supérieur droit intitulé « coupe 1 du cube ») et de préciser le nom de la forme qui a été dessinée.

L'expérimentateur enchaîne ensuite avec un autre exercice. En reprenant le même cube, l'expérimentateur donne la consigne suivante : « C'est un encore nouvel exercice à présent. Il s'agit toujours de travailler sur le cube mais c'est une autre coupe qui va être demandée. Imaginez à présent que je reprenne mon grand couteau et que je coupe le cube comme ceci (il pose la lame de biais (en oblique) au milieu de la face supérieure

(du dessus) du cube, perpendiculairement à sa base et parallèlement à ces côtés). Quelle sera la forme de la surface de la coupe si je coupe le cube comme ceci ? ». L'expérimentateur demande alors aux élèves de dessiner, à main levée, la forme de la surface de la coupe dans l'encadré adéquat sur la feuille de papier (feuille « cube », encadré inférieur gauche intitulé « coupe 2 du cube ») et de préciser le nom de la forme qui a été dessinée.

Enfin, un dernier exercice effectué avec le cube est demandé aux élèves. L'expérimentateur reprend le cube et donne la consigne suivante : « Il s'agit du dernier exercice que vous allez faire avec le cube. Une autre coupe vous est demandée. Imaginez à présent que je reprenne ma grande lame et que je coupe le cube comme ceci (il pose la lame au départ de la partie supérieure d'une face (avant le sommet) du cube et indique aux élèves que la lame rejoindra le côté opposé en biais, c'est-à-dire la partie inférieure du côté opposé). Quelle sera la forme de la surface de la coupe si je coupe le cube comme ceci ? ». L'expérimentateur demande aux élèves de dessiner, à main levée, la forme de la surface de la coupe dans l'encadré adéquat sur la feuille de papier (feuille « cube », encadré inférieur droit intitulé « coupe 3 du cube ») et de préciser le nom de la forme qui a été dessinée.

L'expérimentateur procède ensuite à la même série d'exercices pour le cône, la sphère et le cylindre. Au total, l'expérimentation dure une trentaine de minutes et 16 exercices sont réalisés. Ces 16 exercices sont décrits dans le Tableau 6.2, présenté ci-dessous.

Tableau 6.2 - Description des exercices de visualisation spatiale demandés (quatre solides, des empreintes et trois sections/coupes)

Solides	Empreinte ou coupes/sections	Description de l'exercice demandé
Cube (hexaèdre régulier)	Empreinte	L'empreinte demandée constitue la « base » du cube
	Coupe transversale	La section simulée est une coupe parallèle à la « base » du cube (parallèle à une face du cube)
	Coupe longitudinale	La section simulée est une coupe parallèle au « côté » du cube
	Coupe oblique	La section simulée est une coupe oblique des côtés du cube (parallèle à une arête)
Cône (cône de révolution ou cône circulaire droit)	Empreinte	L'empreinte demandée constitue la base du cône
	Coupe transversale	La section simulée est une coupe parallèle à la base du cône
	Coupe perpendiculaire (ou, pour simplifier les propos, longitudinale)	La section simulée est une coupe perpendiculaire à la base du cône
	Coupe oblique	La section simulée est une coupe oblique du cône
Sphère	Empreinte	L'empreinte demandée constitue la base de la sphère
	Coupe transversale	La section simulée est une coupe parallèle à la base de la sphère
	Coupe perpendiculaire (ou, pour simplifier les propos, longitudinale)	La section simulée est une coupe perpendiculaire à la base de la sphère
	Coupe oblique	La section simulée est une coupe oblique de la sphère
Cylindre (cylindre de révolution ou cylindre droit)	Empreinte	L'empreinte demandée constitue la base du cylindre
	Coupe transversale	La section simulée est une coupe parallèle à la base du cylindre
	Coupe longitudinale	La section simulée est une coupe parallèle au côté du cylindre
	Coupe oblique	La section simulée est une coupe oblique des côtés du cylindre

6. Recueil et analyses des données

Par élève, 16 réponses sont attendues (Tableau 6.3). Ces réponses consistent en la représentation (dessins de formes) des empreintes laissées par les quatre solides quand ceux-ci sont posés sur le sol (on parlera alors d'« empreintes sans coupe ») et des empreintes obtenues suite à la section simulée de chacun des quatre solides (on parlera alors d'« empreinte après coupe transversale », d'« empreinte après coupe longitudinale » ou d'« empreinte après coupe oblique »).

Les réponses, de chacun des élèves, sont encodées manuellement dans le logiciel SPSS (celui-ci est utilisé pour le traitement statistique des données). Chacune des empreintes (empreintes sans coupe et empreintes après coupes) représentées est alors rattachée à une catégorie de réponses (bonne réponse ou réponse erronée/absence de réponse). Si les réponses erronées ont également été codées en fonction du type d'erreur commis, les résultats présentés ci-après portent essentiellement sur la catégorie « bonne réponse » ou « réponse erronée/absence de réponse ».

Tableau 6.3 – Tableau reprenant les réponses attendues

Solides	Empreinte ou coupes/sections	Dessins attendus
Cube (hexaèdre régulier)	Empreinte sans coupe	Carré
	Empreinte après coupe transversale	Carré
	Empreinte après coupe longitudinale	Carré
	Empreinte après coupe oblique	Rectangle
Cône (cône de révolution ou cône circulaire droit)	Empreinte sans coupe	Cercle
	Empreinte après coupe transversale	Cercle (plus petit que le précédent)
	Empreinte après coupe perpendiculaire/longitudinale	Triangle
	Empreinte après coupe oblique	Ellipse (ou ovale)
Sphère	Empreinte sans coupe	Point
	Empreinte après coupe transversale	Cercle
	Empreinte après coupe perpendiculaire/longitudinale	Cercle
	Empreinte après coupe oblique	Cercle
Cylindre (cylindre de révolution ou cylindre droit)	Empreinte sans coupe	Cercle
	Empreinte après coupe transversale	Cercle
	Empreinte après coupe longitudinale	Rectangle
	Empreinte après coupe oblique	Ellipse (ou ovale)

À chaque exercice réalisé (16 exercices au total), l'élève obtient un score dichotomisé (échec = 0 ou réussite = 1). Sur la base de ces scores, des taux de réussite (scores moyens, en %) ont été calculés. La partie « Résultats » porte sur l'utilisation des trois scores moyens suivants :

- *Scores moyens (%)* reprenant les pourcentages de réussite des 16 exercices demandés (tous les exercices confondus) ;
- *Scores moyens des exercices d'empreintes de solides (%)* reprenant les taux de réussite pour chacune des empreintes ou des coupes considérées (tous solides confondus) ;
- *Scores moyens relatifs aux solides géométriques (%)* reprenant les taux de réussite pour chacun des solides considérés (toutes coupes confondues).

7. Résultats

7.1 Y a-t-il des différences de performances en termes de scores moyens en fonction de l'âge des élèves ?

Dans cette section, il est question de s'interroger sur l'existence de différences de scores moyens en fonction de l'âge des élèves. Les scores moyens présentés portent ici sur toutes les empreintes et tous les solides. Un seul score moyen (en %) est donc attribué à chacun des élèves.

7.1.1 Analyses descriptives

Le graphique présenté ci-dessous (Figure 6.1) reprend les scores moyens calculés pour chaque âge. La lecture du graphique permet de rendre compte d'une amélioration globale en fonction des âges des élèves. Le score moyen à l'âge de 8 ans est de 37,8% et de 45,6% à l'âge de 9 ans. À l'âge de 10 ans, ce score moyen diminue légèrement puisqu'il est de 44,3%. Il augmente ensuite progressivement (49,6% à l'âge de 11 ans, 53,7% à l'âge de 12 ans, 61,9% à l'âge de 13 ans) jusqu'à atteindre les 66,7% à l'âge de 14 ans.

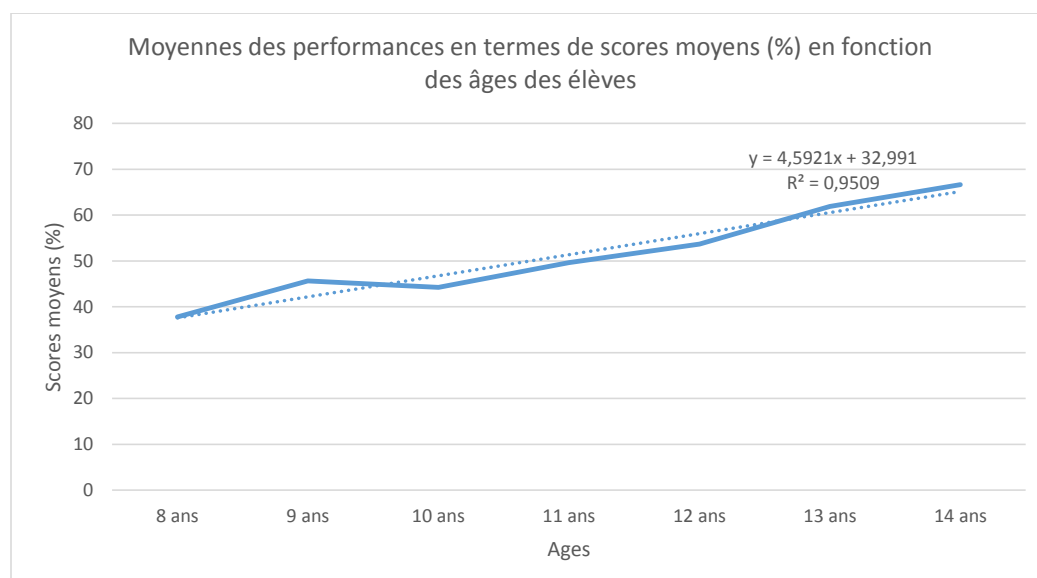


Figure 6.1 – Analyse descriptive : Performances en termes de scores moyens (%) en fonction des âges des élèves

Le coefficient de détermination (R^2), qui apparaît sur la Figure 6.1, détermine à quel point l'équation de régression linéaire est adaptée pour décrire la distribution des scores moyens. Ce R^2 a, ici, une valeur très élevée ($R^2 = .951$). Cela signifie que la variable « âges » peut expliquer 95% de la variabilité des scores moyens.

7.1.2 Analyses inférentielles

Suite à la présentation, via l'utilisation de la statistique descriptive, des différences de scores moyens en fonction des âges des élèves, il est à présent intéressant de savoir si les différences remarquées entre les groupes d'âges sont ou non significatives. Pour ce faire, une ANOVA à un facteur est ici réalisée (Tableau 6.4).

Tableau 6.4 – Analyse inférentielle : ANOVA à un facteur réalisée à partir des scores moyens

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Inter-groupes	24444,196	6	4074,033	6,804	,000
Intra-groupes	159863,514	267	598,740		
Total	184307,710	273			

L'ANOVA à un facteur permet d'affirmer qu'il existe une différence significative de performances entre les groupes d'âges considérés ($F(6,267) = 6.80, p = .000$). Le calcul de la taille de l'effet rend cependant compte de la faible importance de l'effet de la variable indépendante (âge) sur la variable dépendante ($\omega^2 = 0,122$) (Cohen, 1988).

Alors que l'analyse de variance effectuée montre qu'il existe des différences entre les groupes d'âges, celle-ci ne précise pas où se trouvent ces différences. Pour situer ces dernières, un test post hoc peut être réalisé. Afin de choisir le post hoc de l'ANOVA adéquat, il importe de vérifier la prémisse d'égalité de variances à l'aide du test de Levene. Le seuil de signification de ce test est fixé à $p < .05$. La significativité du test ($p = .000$) conduit à rejeter l'hypothèse nulle de l'égalité de variances. Etant donné l'hétérogénéité des variances et l'inégalité de nos groupes de sujets, le post hoc test de Games-Howell est appliqué (Tableau 6.5).

Tableau 6.5 – Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores moyens (toutes empreintes/empreintes après coupes et tous solides confondus)	8	9	,756
		10	,925
		11	,384
		12	,064
		13	,000
		14	,000
	9	10	1,000
		11	,995
		12	,830
		13	,023
		14	,002
	10	11	,985
		12	,774
		13	,034
		14	,005
	11	12	,996
		13	,271
		14	,055
	12	13	,657
		14	,197
	13	14	,898

La lecture de ce test post hoc montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et les groupes d'élèves âgés de 9 ans, 10 ans et 11 ans ($p > .05$) ; il révèle cependant que les performances des élèves âgés de 8 ans sont significativement plus faibles que les élèves issus des groupes d'âges de 13 ans et 14 ans ($p = .000$). En ce qui concerne les élèves âgés de 8 ans et ceux de 12 ans, on remarque des différences de performances à la limite de la significativité ($p = .064$). Pour ce qui est du groupe d'élèves âgé de 9 ans, le post hoc test de Games-Howell montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances avec les groupes

d'élèves âgés de 10 ans, 11 ans et 12 ans ($p > .05$). Le post hoc test révèle par contre des différences significatives entre les élèves âgés de 9 ans et ceux âgés de 13 ans ($p = .023$) et 14 ans ($p = .002$). En ce qui concerne le groupe d'élèves âgé de 10 ans, il n'existe aucune différence significative de performances avec le groupe d'élèves âgés de 11 ans ($p = .985$) et 12 ans ($p = .774$). Par contre, les performances des élèves âgés de 10 ans sont significativement plus faibles que les élèves issus des groupes d'âges de 13 ans ($p = .034$) et 14 ans ($p = .005$). Pour le groupe d'élèves âgés de 11 ans, les différences de performances avec les autres groupes d'élèves plus âgés sont toutes en dessous du seuil de significativité ($p > .05$). Le post hoc permet toutefois de remarquer des différences de performances à la limite de la significativité ($p = .055$) pour les élèves âgés de 11 ans et 14 ans. Enfin, le post hoc test de Games-Howell montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances entre les groupes d'élèves âgés de 12 ans, 13 ans et 14 ans ($p > .05$).

7.2 Y a-t-il des différences de scores moyens des exercices d'empreintes et de sections de solides en fonction de l'âge des élèves ?

Après s'être intéressé aux performances en termes de scores moyens, il est à présent question de porter une attention particulière aux scores moyens des exercices d'empreintes demandés en fonction de l'âge des élèves. Sont donc ici considérés, les scores moyens portant sur chacune des empreintes demandées (empreintes, empreintes après une coupe transversale, empreintes après une coupe longitudinale, empreintes après une coupe oblique) quel que soit le solide géométrique employé.

7.2.1 Analyses descriptives

Les graphiques présentés (Figure 6.2) reprennent les scores moyens calculés pour chacune des empreintes demandées, tous solides confondus, en fonction de l'âge des élèves. La lecture des graphiques permet de rendre compte d'une amélioration globale pour toutes les empreintes demandées en fonction de l'âge des élèves. Plus spécifiquement, pour les scores moyens relatifs aux *empreintes*, on remarque une augmentation progressive des résultats au fur et à mesure des âges (53,4% à l'âge de 8 ans, 65,6% à l'âge de 9 ans, 69,6% à l'âge de 10 ans, 74,3% à l'âge de 11 ans, 75% à l'âge de 12 ans, 75,6% à l'âge de 13 ans et 81,2% à l'âge de 14 ans). Concernant les scores moyens relatifs aux *empreintes après coupes transversales*, on remarque que les

performances des élèves âgés de 8 ans, 9 ans et 10 ans sont sensiblement les mêmes (52,3% à 8 ans, 52,5% à 9 ans et 52% à 10 ans). À 11 ans, les performances augmentent légèrement jusqu'à atteindre les 59,8%. Le score moyen à l'âge de 12 ans est de 61,6% et atteint, à l'âge de 13 ans, les 79,4%. À partir de 13 ans, les résultats obtenus se stabilisent (79,9% à 14 ans). En ce qui concerne les scores moyens relatifs aux *empreintes après coupes longitudinales*, on remarque des performances similaires pour les élèves âgés de 8 ans (45,4%), 10 ans (45,3%) et 11 ans (45,1%) ainsi que pour les élèves âgés de 9 ans (53,7%) et 12 ans (53%). Les performances en termes de scores moyens augmentent considérablement de 12 ans à 13 ans (71,9%) pour ensuite se stabiliser à l'âge de 14 ans (70,1%). Pour les scores moyens relatifs aux *empreintes après coupes obliques*, on remarque tout d'abord que les élèves, quel que soit leur âge, éprouvent davantage de difficultés à anticiper les empreintes laissées par les sections des solides géométriques en oblique par rapport aux autres empreintes (empreintes, empreintes après coupes transversales et empreintes après coupes longitudinales). Au fur et à mesure des âges, on constate une augmentation globale des résultats (0% à l'âge de 8 ans, 10,6% à l'âge de 9 ans, 10,1% à l'âge de 10 ans, 19,4% à l'âge de 11 ans, 25% à l'âge de 12 ans, 20,6% à l'âge de 13 ans et 35,4% à l'âge de 14 ans).

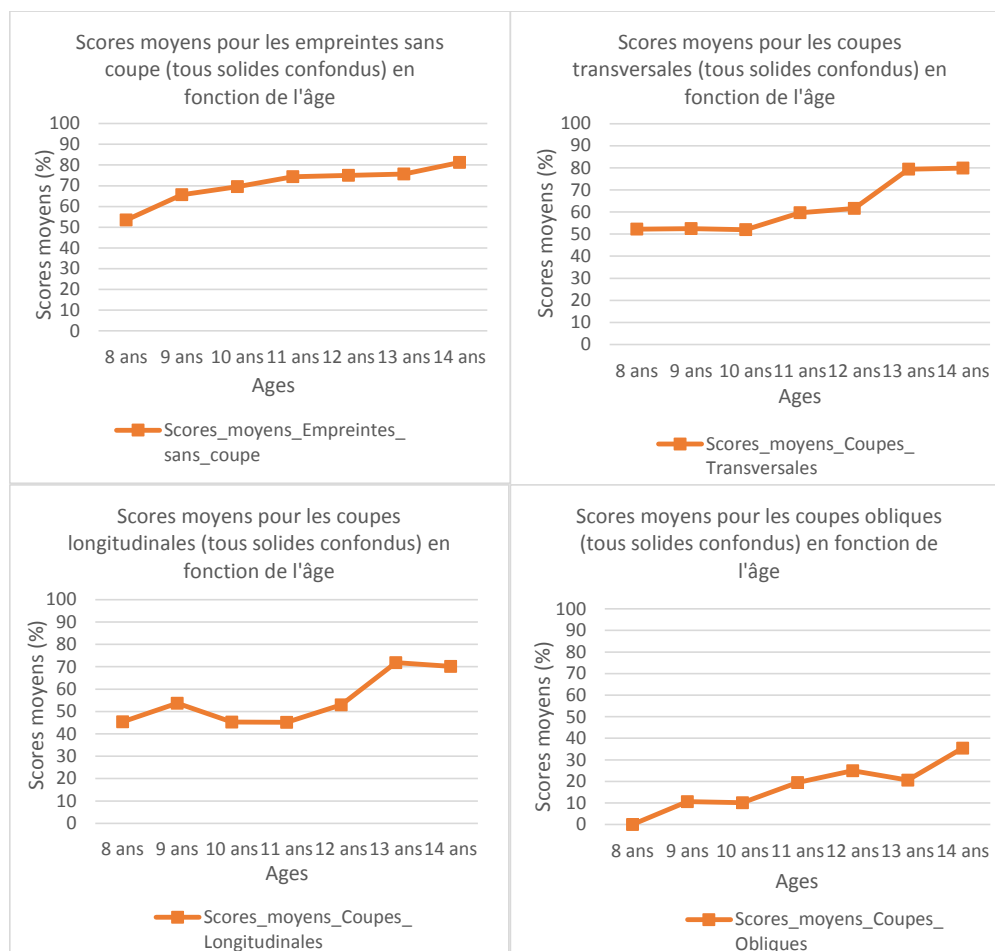


Figure 6.2 – Analyse descriptive : Scores moyens pour chacune des empreintes (tous solides confondus) en fonction des âges des élèves

7.2.2 Analyses inférentielles

Après avoir présenté les analyses descriptives relatives aux scores moyens pour chacune des empreintes demandées, on s'intéresse à présent aux résultats de l'ANOVA à un facteur, pour montrer s'il existe une différence significative entre les groupes d'âges pour chacune des empreintes (Tableau 6.6).

Tableau 6.6 – Analyses inférentielles : ANOVA à un facteur, réalisée à partir des scores moyens des empreintes (empreintes sans coupe et empreintes avec coupes)

ANOVA à un facteur	Statistique F	Significativité
Scores moyens empreintes sans coupe	$F(6,267) = 6,21$.000
Scores moyens empreintes après coupes transversales	$F(6,267) = 4,23$.000
Scores moyens empreintes après coupes longitudinales	$F(6,267) = 5,09$.000
Scores moyens empreintes après coupes obliques	$F(6,267) = 7,68$.000

L'ANOVA à un facteur permet de montrer qu'il existe une différence significative entre les groupes d'âges pour tous les exercices demandés (empreintes, coupes transversales, coupes longitudinales et coupes obliques pour tous solides géométriques confondus). On peut donc conclure que, quel que soit l'empreinte demandée, l'âge influence les performances en termes de scores moyens.

Puisqu'il existe des différences de performances des scores moyens significatives entre les groupes d'âges, il est à présent question de situer à quel âge ces différences peuvent être remarquées. Étant donné que la prémisses d'égalité de variances n'est pas respectée et que les groupes d'élèves ne sont pas égaux, le post hoc test de Games-Howell est, comme pour l'analyse précédente, appliqué.

Concernant les scores moyens relatifs aux *empreintes (sans coupe)* (Tableau 6.7), le test post hoc montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et les groupes d'élèves âgés de 9 ans et 10 ans ($p > .05$). Il révèle cependant que les performances des élèves âgés de 8 ans sont significativement plus faibles que ceux des élèves issus des groupes d'âges de 11 ans ($p = .009$), 12 ans ($p = .006$), 13 ans ($p = .000$) et 14 ans ($p = .000$). Pour ce qui est du groupe d'élèves âgé de 9 ans, le post hoc test de Games-Howell montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances avec les groupes d'élèves âgés de 10 ans, 11 ans, 12 ans et 13 ans ($p > .05$). Le post hoc test révèle par contre des différences significatives entre les élèves âgés de 9 ans et ceux âgés de 14 ans ($p = .01$). En ce qui concerne les autres groupes d'élèves âgés de 10 ans, 11 ans, 12 ans et 13 ans, il n'existe aucune différence significative de performances avec les groupes d'élèves plus âgés ($p > .05$).

**Tableau 6.7 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell
réalisé à partir des scores moyens des empreintes sans coupe**

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores_moyens_ Empreintes sans coupe	8	9	,217
		10	,098
		11	,009
		12	,006
		13	,000
		14	,000
	9	10	,993
		11	,722
		12	,652
		13	,227
		14	,010
	10	11	,989
		12	,979
		13	,897
		14	,292
	11	12	1,000
		13	1,000
		14	,815
	12	13	1,000
		14	,883
	13	14	,646

Concernant les scores moyens relatifs aux *empreintes après coupes transversales* (Tableau 6.8), le test post hoc montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et les groupes d'élèves âgés de 9 ans, 10 ans, 11 ans et 12 ans ($p > .05$) ; il montre cependant que les moyennes de performances des élèves âgés de 8 ans sont significativement plus faibles que les élèves issus des groupes d'âges de 13 ans ($p = .003$) et 14 ans ($p = .005$). Pour ce qui est du groupe d'élèves âgé de 9 ans, le post hoc test utilisé permet d'affirmer qu'il n'existe aucune différence significative de moyennes de scores avec les groupes d'élèves âgés de 10 ans, 11 ans et 12 ans ($p > .05$). Le post hoc test révèle par contre des différences de moyennes significatives entre les élèves âgés de 9 ans et ceux âgés de 13 ans ($p = .020$) et 14 ans ($p = .026$). Les élèves constituant le groupe des 10 ans ont des performances similaires aux groupes d'élèves âgés de 11 ans et 12 ans ($p > .05$) ; par contre, des différences de performances significatives sont remarquées entre les élèves âgés de 10 ans et ceux âgés de 13 ans ($p = .026$) et 14 ans ($p = .032$). En ce qui concerne les autres groupes d'élèves âgés de 11 ans, 12 ans et 13 ans, il n'existe aucune différence significative de performances avec les groupes d'élèves plus âgés ($p > .05$).

Tableau 6.8 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens des empreintes après coupes transversales

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores_moyens_Coupes_Transversales	8	9	1,000
		10	1,000
		11	,979
		12	,917
		13	,003
		14	,005
	9	10	1,000
		11	,989
		12	,954
		13	,020
		14	,026
	10	11	,987
		12	,950
		13	,026
		14	,032
	11	12	1,000
		13	,138
		14	,162
	12	13	,132
		14	,165
	13	14	1,000

Concernant les scores moyens relatifs aux *empreintes après coupes longitudinales* (Tableau 6.9), le test post hoc montre qu'il n'existe aucune différence significative de moyennes entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et les groupes d'élèves âgés de 9 ans, 10 ans, 11 ans et 12 ans ($p > .05$). Ce test révèle cependant que les moyennes de performances des élèves âgés de 8 ans sont significativement plus faibles que les élèves issus des groupes d'âges de 13 ans ($p = .000$) et 14 ans ($p = .002$). Pour ce qui est du groupe d'élèves âgé de 9 ans, le post hoc test utilisé permet d'affirmer qu'il n'existe aucune différence de moyennes de score global avec les groupes d'élèves plus âgés ($p > .05$). En ce qui concerne le groupe d'élèves âgés de 10 ans, le post hoc test ne révèle pas de différences de moyennes significatives avec les élèves âgés de 11 ans et ceux âgés de 12 ans ($p > .05$) et 14 ans ($p = .026$) ; par contre, il permet de remarquer des différences significatives de performances avec les groupes d'élèves âgés de 13 ans ($p = .009$) et 14 ans ($p = .034$). Les groupes d'élèves âgés de 11 ans et 12 ans ne diffèrent pas significativement de par leurs scores moyens ; a contrario, on remarque des différences significatives entre le groupe de 11 ans et les groupes de 12 ans ($p = .003$) et 13 ans ($p = .016$). Enfin, on peut affirmer qu'il y a des différences de performances

significatives entre les groupes d'âges de 12 ans et 13 ans ($p = .038$) alors qu'il n'y en a pas entre les groupes d'âges de 12 ans-13 ans et 14 ans ($p > .05$).

Tableau 6.9 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens des empreintes après coupes longitudinales

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores_moyens_Coupes_Longitudinales	8	9	,912
		10	1,000
		11	1,000
		12	,924
		13	,000
		14	,002
	9	10	,959
		11	,941
		12	1,000
		13	,090
		14	,261
	10	11	1,000
		12	,967
		13	,009
		14	,034
	11	12	,952
		13	,003
		14	,016
	12	13	,038
		14	,160
	13	14	1,000

Concernant les scores moyens relatifs aux *empreintes après coupes obliques*, le test post hoc de Games-Howell (Tableau 6.10) montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et les groupes d'élèves âgés de 9 ans et 10 ans ($p > .05$) ; il révèle cependant que les moyennes des scores moyens des élèves âgés de 8 ans sont significativement plus faibles que les élèves issus des groupes d'âge de 11 ans ($p = .004$), 12 ans ($p = .000$), 13 ans ($p = .004$) et 14 ans ($p = .000$). Pour ce qui est du groupe d'élèves âgé de 9 ans, le post hoc test de Games-Howell montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances avec les autres groupes d'élèves ($p > .05$), à l'exception du groupe d'élèves âgés de 14 ans ($p = 0.009$). En ce qui concerne les autres groupes d'élèves âgés de 10 ans, 11 ans, 12 ans et 13 ans, il n'existe aucune différence significative de performances avec les groupes d'élèves plus âgés ($p > .05$).

Tableau 6.10 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens des empreintes après coupes obliques

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores_moyens_Coupes_Obliques	8	9	,117
		10	,214
		11	,004
		12	,000
		13	,004
		14	,000
	9	10	1,000
		11	,784
		12	,158
		13	,712
		14	,009
	10	11	,763
		12	,158
		13	,691
		14	,009
	11	12	,974
		13	1,000
		14	,324
	12	13	,994
		14	,741
	13	14	,454

7.3 Y a-t-il des différences de scores moyens relatifs aux solides géométriques en fonction de l'âge des élèves ?

Après s'être intéressé aux performances en termes de scores moyens et aux performances en termes de scores moyens des exercices d'empreintes demandés, il est à présent question de porter une attention particulière aux scores moyens relatifs aux solides géométriques en fonction de l'âge des élèves. Sont donc ici considérés, les scores moyens portant sur chacun des solides géométriques considérés (cube, cône, sphère, cylindre) quelle que soit l'empreinte demandée.

7.3.1 Analyses descriptives

Les graphiques présentés (Figure 6.3) reprennent les scores moyens calculés pour chacun des solides considérés, toutes empreintes confondues, en fonction de l'âge des élèves. Les graphiques présentés rendent compte d'une amélioration globale pour tous les solides géométriques considérés. Plus spécifiquement, pour les scores moyens relatifs au *cube*, on remarque que les performances des élèves âgés de 8 ans (57,9%) et 9 ans (55,6%) sont plus élevées que celles des élèves de 10 ans (52,7%) et 11 ans (54,9%). Une importante progression a lieu entre 12 ans (58,5%) et 13 ans (76,2%). De 13 ans à 14 ans, les performances semblent se stabiliser (77,1% pour les élèves de 14 ans). En ce qui concerne les scores moyens relatifs au *cône*, on constate que les performances des élèves âgés de 8 ans sont en-deçà de la moyenne (39,8%). Les résultats des élèves de 9 ans (55,6%) sont meilleurs que ceux des élèves de 10 ans (50%), 11 ans (53,5%) et 12 ans (55,5%). À 13 ans et 14 ans, les résultats dépassent les 60% (62,5% pour les élèves de 13 ans et 66,7% pour les élèves de 14 ans). Les scores moyens relatifs à la *sphère* permettent de remarquer que c'est ce solide qui a posé le plus de difficultés aux élèves, et ce quel que soit leur âge. En effet, les scores moyens de l'ensemble des élèves (à l'exception de ceux de 14 ans) ne dépassent pas les 50% (6,8% pour les élèves âgés de 8 ans, 19,4% pour les élèves âgés de 9 ans, 26,3% pour les élèves âgés de 10 ans, 31,9% pour les élèves âgés de 11 ans, 45,7% pour les élèves âgés de 12 ans et 38,1% pour les élèves âgés de 13 ans). Les élèves âgés de 14 ans affichent, quant à eux, un score global moyen qui dépasse légèrement la moitié (52,1%).



Figure 6.3 – Analyse descriptive : Scores moyens pour chacun des solides (toutes empreintes confondues) en fonction des âges des élèves

7.3.2 Analyses inférentielles

Après avoir présenté les analyses descriptives relatives aux scores moyens pour chacun des solides considérés, on s'intéresse à présent aux résultats de l'ANOVA à un facteur pour montrer s'il existe une différence significative entre les groupes d'âges pour chacun des solides (Tableau 6.11).

Tableau 6.11 - Analyses inférentielles : ANOVA à un facteur, réalisée à partir des scores moyens des solides

ANOVA à un facteur	Statistique F	Significativité
Scores moyens pour le solide « cube »	$F(6,267) = 6,24$.000
Scores moyens pour le solide « cône »	$F(6,267) = 3,35$.003
Scores moyens pour le solide « sphère »	$F(6,267) = 11,05$.000
Scores moyens pour le solide « cylindre »	$F(6,267) = 4,02$.001

L'ANOVA à un facteur permet de montrer qu'il existe une différence significative entre les groupes d'âges pour les formes géométriques considérées (cube, cône, sphère et cylindre pour tous les exercices demandés). On peut donc conclure que, quelle que soit la forme géométrique considérée, l'âge influence les performances en termes de scores moyens.

Comme pour les analyses précédentes, le post hoc test de Games-Howell est, de nouveau appliqué afin de situer à quels âges les différences de scores moyens peuvent être remarquées.

Concernant les scores moyens relatifs au *cube* (Tableau 6.12), le test post hoc montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et les groupes d'élèves âgés de 9 ans, 10 ans 11 ans et 12 ans ($p > .05$) ; il révèle cependant que les performances des élèves âgés de 8 ans sont significativement plus faibles que les élèves issus des groupes d'âges de 13 ans ($p = .002$) et 14 ans ($p = .008$). Pour ce qui est du groupe d'élèves âgé de 9 ans, le post hoc test de Games-Howell montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances avec les groupes d'élèves âgés de 10 ans, 11 ans et 12 ans ($p > .05$). Le post hoc test révèle par contre des différences significatives entre les élèves âgés de 9 ans et ceux âgés de 13 ans ($p = .002$) et 14 ans ($p = .006$). Le post hoc permet d'affirmer qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes d'élèves âgés de 10 ans et les élèves âgés de 11 ans et 12 ans ($p > .05$) ; cependant, il confirme une différence significative entre les élèves

âgés de 10 ans et ceux âgés de 13 ans ($p = .001$) et 14 ans ($p = .003$). En ce qui concerne le groupe d'élèves âgés de 11 ans, on ne relève pas de différence significative par rapport aux élèves âgés de 12 ans ; par contre, des différences de performances significatives peuvent être remarquées entre le groupe d'élèves âgés de 11 ans et ceux âgés de 13 ans ($p = .011$) ou ceux de 14 ans ($p = .019$). Le groupe d'élèves âgés de 12 ans se distingue significativement de par leurs performances des groupes d'élèves âgés de 13 ans ($p = .020$) et 14 ans ($p = .038$) alors que le groupe d'élèves âgés de 13 ans a des performances similaires aux groupes d'élèves plus âgés ($p > .05$).

Tableau 6.12 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens du cube (toutes empreintes confondues)

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores_moyens_Cube	8	9	,999
		10	,965
		11	,999
		12	1,000
		13	,002
		14	,008
	9	10	,999
		11	1,000
		12	,999
		13	,002
		14	,006
	10	11	1,000
		12	,966
		13	,001
		14	,003
	11	12	,998
		13	,011
		14	,019
	12	13	,020
		14	,038
	13	14	1,000

Concernant les scores moyens relatifs au *cône* (Tableau 6.13), le test post hoc de Games-Howell montre qu'il n'existe pas de différence significative de performances entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et les groupes d'élèves âgés de 9 ans, 10 ans, 11 ans et 12 ans ($p > .05$). Cependant, les performances des élèves âgés de 8 ans sont significativement plus faibles que les élèves issus des groupes d'âges de 13 ans ($p = .005$) et 14 ans ($p = .000$). Le post hoc test de Games-Howell montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances avec les autres groupes d'élèves âgés de 9 ans, 10 ans, 11 ans, 12 ans, 13 ans et 14 ans ($p > .05$).

Tableau 6.13 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens du cône (toutes empreintes confondues)

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores_moyens_Cône	8	9	,278
		10	,779
		11	,585
		12	,273
		13	,005
		14	,000
	9	10	,987
		11	1,000
		12	1,000
		13	,922
		14	,558
	10	11	,999
		12	,988
		13	,428
		14	,125
	11	12	1,000
		13	,859
		14	,508
	12	13	,908
		14	,523
	13	14	,978

Concernant les scores moyens relatifs à la *sphère* (Tableau 6.14), les résultats du test post hoc montrent qu'il n'existe pas de différence de performances entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et le groupe d'élèves âgés de 9 ans ($p > .05$). Par contre, des différences de performances significatives ont été relevées entre les élèves âgés de 8 ans et ceux âgés de 10 ans ($p = .032$), 11 ans ($p = .004$), 12 ans, 13 ans et 14 ans ($p = .000$). Concernant le groupe d'élèves âgés de 9 ans, leurs performances ne diffèrent pas significativement des groupes d'élèves âgés de 10 ans et 11 ans ; a contrario, elles

diffèrent significativement de celles des élèves âgés de 12 ans ($p = .011$), 13 ans ($p = .019$) et 14 ans ($p = .000$). Pour ce qui est des autres groupes d'âges, le post hoc ne révèle qu'une différence significative entre les élèves âgés de 10 ans et ceux de 14 ans ($p = .023$).

Tableau 6.14 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens de la sphère (toutes empreintes confondues)

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores_moyens_Sphère	8	9	,095
		10	,032
		11	,004
		12	,000
		13	,000
		14	,000
	9	10	,955
		11	,596
		12	,011
		13	,019
		14	,000
	10	11	,993
		12	,250
		13	,600
		14	,023
	11	12	,671
		13	,974
		14	,159
	12	13	,936
		14	,985
	13	14	,317

Concernant les scores moyens relatifs au *cylindre* (Tableau 6.15), le test post hoc montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances entre le groupe d'élèves âgés de 8 ans et les groupes d'élèves âgés de 9 ans, 10 ans 11 ans et 12 ans ($p > .05$). Ce post hoc révèle cependant que les performances des élèves âgés de 8 ans sont significativement plus faibles que les élèves issus des groupes d'âges de 13 ans ($p = .006$) et 14 ans ($p = .007$). Pour ce qui est du groupe d'élèves âgé de 9 ans, aucune différence de performance significative, en termes de scores moyens, avec les élèves plus âgés n'est à relever. L'application du post hoc test de Games-Howell ne permet pas de remarquer des différences significatives entre les groupes d'élèves âgés de 10 ans, 11 ans et 12 ans ($p > .05$). Le post hoc test révèle par contre des différences significatives entre les élèves âgés de 9 ans et ceux âgés de 13 ans ($p = .002$) et 14 ans ($p = .006$). Le

post hoc permet d'affirmer qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes d'élèves âgés de 10 ans et les élèves âgés de 11 ans et 12 ans ($p > .05$). Cependant, il confirme une différence significative entre les élèves âgés de 10 ans et ceux âgés de 13 ans ($p = .030$) et 14 ans ($p = .032$). Aucune autre différence significative n'est remarquée pour les autres groupes d'âges ($p > .05$).

Tableau 6.15 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens du cylindre (toutes empreintes confondues)

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores_moyens_Cylindre	8	9	,989
		10	1,000
		11	,651
		12	,920
		13	,006
		14	,007
	9	10	,999
		11	,970
		12	1,000
		13	,065
		14	,070
	10	11	,821
		12	,975
		13	,030
		14	,032
	11	12	,999
		13	,497
		14	,500
	12	13	,255
		14	,260
	13	14	1,000

8. Utilisation de la statistique implicative en vue de définir une classification hiérarchique d'exercices de visualisation spatiale

Alors que l'utilisation de la statistique inférentielle a permis d'analyser, dans les précédentes sections, chaque variable séparément (empreintes/sections et solides), il est à présent question de les étudier ensemble, au travers des 16 exercices proposés⁷. Par le biais de l'analyse statistique implicative (ASI), on s'interroge ici sur les relations qu'entretiennent entre eux les exercices en étudiant, d'une part, leurs ressemblances et, d'autre part, les implications les plus pertinentes qui les unissent.

Pour ce faire, le logiciel CHIC (Classification Hiérarchique Implicative et Cohésitive) a été utilisé. Parmi les différents traitements statistiques offerts par le logiciel, deux sont ici employés : l'arbre des similarités et le graphe implicatif. Étant donné le nombre restreint de sujets (inférieur à un millier), le type d'implication choisi est fondé sur la théorie classique (Gras & Régnier, 2009).

8.1 Création d'un arbre des similarités pour présenter les ressemblances entre les exercices proposés

Le premier traitement réalisé, celui de l'arbre des similarités, permet d'identifier les variables possédant les mêmes caractéristiques. Dans le cadre de cette expérimentation, l'analyse des similarités révèle dans quelle mesure les différents exercices proposés sont ou non semblables. Le logiciel calcule ainsi pour chacun des couples de variables binaires (ici des couples d'exercices réussis ou ratés) la similarité entre celles-ci et agrège ensuite, selon l'importance de l'intensité de similarité, des classes composées elles-mêmes d'autres classes selon différents niveaux (Couturier, 2001 ; Gras & Régnier, 2009). Concrètement, un arbre à plusieurs niveaux est créé selon le principe suivant : à un premier niveau d'intensité, les deux variables les plus similaires (possédant la plus grande intensité de similarité) sont réunies en une même classe (par ex. a,b) ; à un deuxième niveau d'intensité, la classe du premier niveau (a,b) et une nouvelle variable (par ex. c) peuvent être réunies pour former une nouvelle classe

⁷ Étant donné le nombre restreint d'élèves composant chacune des tranches d'âges, les analyses proposées dans cette section sont réalisées sur l'ensemble des élèves, quelle que soit leur appartenance à une classe d'âge donnée. Il est à noter que la distribution anormale des données ne permet pas d'effectuer des analyses de régressions.

$(a,b,(c))$ ou, dans certains cas, deux nouvelles variables sont réunies (par ex. d,e) ; à un troisième niveau d'intensité, les deux premières classes peuvent être réunies $((a,b,(c)),d,e)$, soit une autre variable (par ex. f) est associée à une classe déjà créée (par ex. $(d,e,(f))$) ou encore deux nouvelles autres variables peuvent être agrégées (par ex. g,h) ; etc. Dans le cas présent, le logiciel associe, entre eux, les exercices (définis ici en tant que variables) qui sont réussis de manière semblable par les élèves.

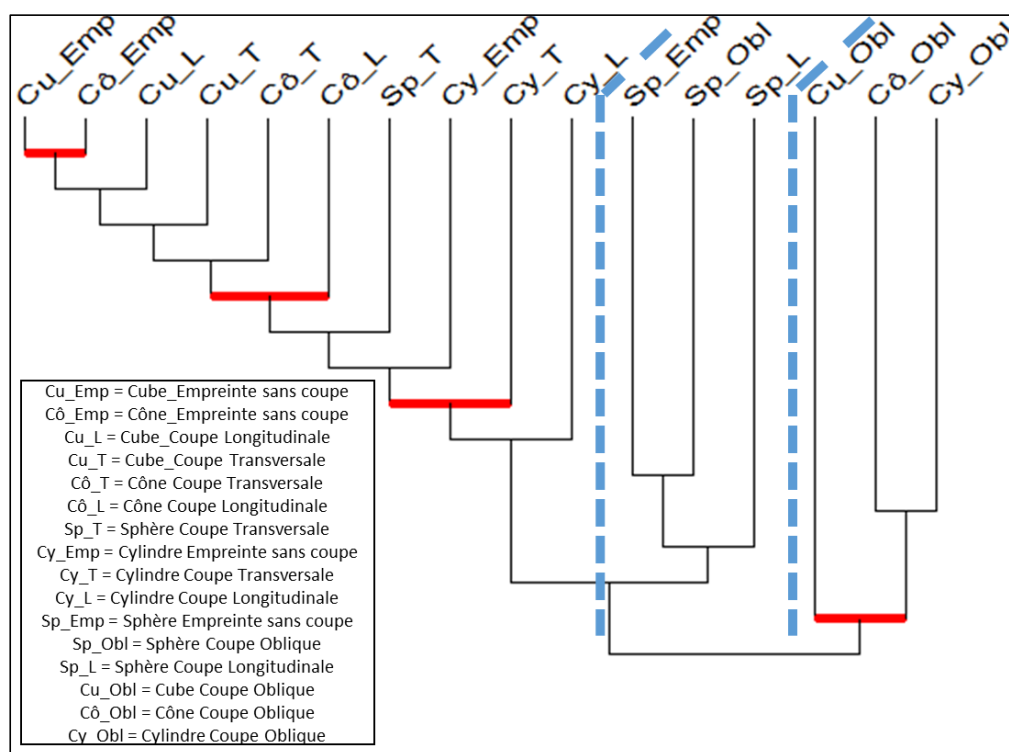


Figure 6.4 - Arbre de similarités relatif aux 16 exercices de visualisation spatiale

L'arbre de similarités, généré par le logiciel CHIC, permet d'obtenir une représentation graphique des similarités unissant les 16 exercices proposés (Figure 6.4). Les traits rouges représentent que le degré de similarité « est plus significatif que le précédent et le suivant » (Couturier & Almouloud, 2009). La représentation peut être scindée en trois catégories (séparation des catégories par des lignes bleues discontinues). La première catégorie, sur la gauche, réunit dix exercices en neuf niveaux, la deuxième catégorie, au centre, réunit trois exercices en deux niveaux et la troisième catégorie réunit également trois exercices en deux niveaux. En première catégorie, on remarque que les exercices Cu_Emp et Cô_Emp sont d'abord associés (premier niveau de similarité). Ainsi, qu'il s'agisse de l'empreinte du Cube ou du Cône, ces exercices sont aussi bien réussis l'un que l'autre par les élèves. L'autre exercice étant réussi de façon semblable aux deux

précédemment cités est le Cu_L (deuxième niveau), s'en suit le Cu_T (troisième niveau). Il apparaît ainsi que les exercices portant sur le Cube (à l'exception du Cu_Obl) sont réussis de manière semblable. Proche des performances du Cu_T, l'exercice Cô_T y est agrégé (quatrième niveau). Le Cô_L est lui-même rattaché à la classe précédente (cinquième niveau). On peut donc dire que les exercices relatifs au Cube et au Cône (quelles que soient les empreintes ou sections demandées) se ressemblent le plus du point de vue des performances des élèves. Réussi de façon semblable à l'exercice Cô_L, l'exercice Sp_T lui est associé (sixième niveau). Les exercices portant sur le Cy sont globalement réussis de façon similaire par les élèves (septième au neuvième niveau). Concernant la première catégorie, il apparaît donc que les exercices à avoir été les plus réussis concernent les empreintes (toutes les Emp, exceptée celle de la Sphère), les coupes transversales (T) et les coupes longitudinales (L, exceptée celle de la Sphère). En deuxième catégorie, on remarque que les trois exercices relatifs à la Sphère ((Sp_Emp, Sp_Obl), Sp_L) entretiennent, entre eux, des liens de similarités. Enfin, en troisième catégorie, sont rassemblés trois des quatre exercices portant sur les coupes en oblique ((Cô_Obl, Cy_Obl), Cu_Obl).

8.2 Le graphe implicatif : classification hiérarchique des exercices en visualisation spatiale

Dans cette section, il est question d'envisager l'expérimentation réalisée comme une épreuve psychométrique, composée de 16 exercices, dont on cherche à déterminer les qualités psychométriques. L'indice de fiabilité, permettant d'apprécier la cohérence interne de l'échelle considérée (à savoir l'ensemble des exercices proposés), est l'alpha de Cronbach. Dépassant le seuil minimum requis de .70 (Nunnally, 1978), cet indice a ici une valeur très élevée ($\alpha = .894$). D'une part, cela signifie que l'ensemble des éléments constituant l'expérimentation est très consistant ou homogène et, d'autre part, cela permet de s'assurer que les exercices mesurent le « vrai score » de l'individu (diminuant, de fait, l'erreur de mesure qui fait varier le score global d'une mesure à une autre prise dans le temps). Fort de ce résultat, on peut raisonnablement suggérer, en synthèse, une classification hiérarchique des exercices de visualisation spatiale proposés.

Pour parvenir à déterminer cette typologie, le second traitement réalisé, grâce au logiciel CHIC, est la construction d'un graphe implicatif. À visée prédictive, l'utilisation de l'ASI amène ici à une représentation modélisée, sous la forme d'un graphe, qui met en

évidence, par la mesure (en référence au seuil d'implication utilisé), l'ensemble des relations de quasi-implication qui existe entre les couples de variables considérés (soit, par exemple a et b). Les relations implicatives existantes entre les deux variables a et b sont du type « si on observe a alors on a aussi tendance à observer b , et ceci de manière statistiquement significative » ou, en d'autres termes, « si a alors presque b » (Gras, 1996 ; Gras, 2005). Dans le cadre de cette expérimentation, la relation entre les variables considérées (à savoir les exercices proposés) se traduit par : « si l'exercice a est maîtrisé alors il y a de fortes chances que l'exercice b le soit également ».

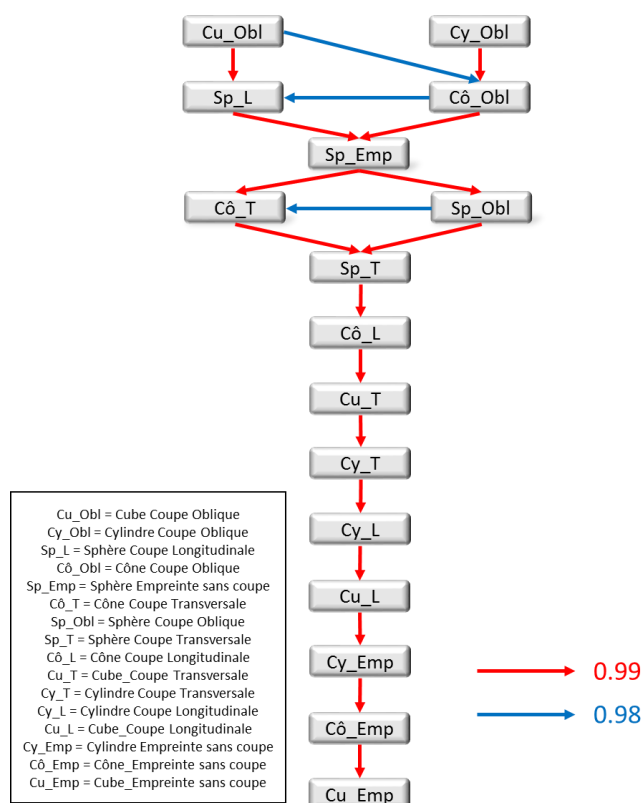


Figure 6.5 - Graphe implicatif au seuil 0,98 relatif aux exercices de visualisation spatiale proposés

La lecture du graphe implicatif, présenté en Figure 6.5, permet de visualiser les liens qui existent entre les différents exercices proposés lors de l'expérimentation. Ces liens sont de forte intensité d'implication ($p = .99$ et $p = .98$). Il en ressort que la maîtrise de l'exercice Cu_Obl implique la maîtrise de l'exercice Sp_L qui, lui-même, implique la maîtrise de l'exercice Sp_Emp. Parallèlement à cela, l'exercice Cy_Obl implique la maîtrise de Côt_Obl, qui implique lui-même la maîtrise de l'exercice Sp_Emp. La maîtrise de l'exercice Sp_L ainsi que la maîtrise de l'exercice Côt_Obl impliquent donc,

toutes deux, la maîtrise de l'exercice Sp_Emp. La maîtrise de ce dernier exercice implique, quant à lui, la maîtrise de l'exercice Côt_T et de l'exercice Sp_Obl et ces deux derniers exercices impliquent la maîtrise de Sp_T. L'exercice Sp_T, lui, implique la maîtrise de l'exercice Côt_L, qui implique la maîtrise de l'exercice Cu_T. Il en va ainsi pour les exercices restants, l'un impliquant l'autre avec une forte intensité d'implication ($p = .99$).

En procédant à la lecture ascendante de cette représentation implicative (du bas vers le haut), on peut donc remarquer que la maîtrise de l'exercice Cu_Emp est un précurseur à l'ensemble des autres exercices proposés (tout comme l'exercice Côt_Emp est le précurseur de l'exercice Cy_Emp). Ainsi, il apparaît que l'exercice Cu_Emp (tout comme l'exercice Côt_Emp) doit être maîtrisé par les élèves afin que ceux-ci puissent parvenir à résoudre les autres exercices demandés. Il en va ainsi pour les autres exercices jusqu'aux exercices Cu_Obl et Cy_Obl. Avec une marge d'erreur minime, il est possible d'affirmer que si l'exercice Cu_Obl est maîtrisé par les élèves alors, il y a de fortes chances que l'ensemble des exercices demandés le soit également.

9. Quelles sont les erreurs-types principalement commises en fonction des âges ?

Après avoir décrit les performances en termes de scores moyens, un intérêt est porté aux erreurs-types commises par les élèves pour chacun des exercices demandés. Les tableaux présentés en Figure 6.16, Figure 6.17, Figure 6.18 et en Figure 6.19 permettent de prendre connaissance des erreurs-types commises pour chaque solide, en fonction des âges. Globalement, deux constats peuvent être effectués. D'une part, les erreurs commises sont souvent les mêmes quel que soit l'âge. On remarquera, en outre, des erreurs-types surprenantes comme la représentation d'un cercle pour désigner l'empreinte de la sphère, qui est pourtant directement perceptible. D'autre part, les élèves ne prennent pas systématiquement en compte la 3D et considèrent le tracé simulé de la coupe sur une des faces du solide pour produire la forme 2D associées. Ainsi, pour la coupe en oblique du cube, les enfants considèrent le cube comme un carré coupé en deux, de façon oblique, et représentent alors un triangle, soit une partie de la face du solide directement perceptible après la coupe simulée.

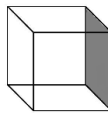









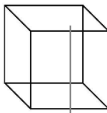














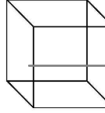














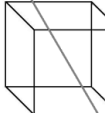



















Expérimentations		Ages									13 ans	14 ans
	Pas de réponse (Ø)	Ø = 0 %		Ø = 2.5 %	Ø = 2.7 %	Ø = 8.3 %	Ø = 2.4 %	Ø = 0%		Ø = 0%	Ø = 0%	
	Bonne réponse	 = 100 %	 = 95 %	 = 94.6 %	 = 91.7 %	 = 92.7 %	 = 100 %				 = 100 %	
	Erreur-type		 = 2.5 %	 = 2.7 %								
	Pas de réponse (Ø)	Ø = 29.6 %	Ø = 20 %	Ø = 21.6 %	Ø = 11.1 %	Ø = 9.7 %	Ø = 2.5 %	Ø = 5.5 %				
	Bonne réponse	 = 63.6 %	 = 50 %	 = 45.9 %	 = 58.3 %	 = 63.4 %	 = 90 %	 = 83.3 %				
	Erreur-type	 = 6.8 %	 = 22.5 %	 = 24.3 %	 = 22.2 %	 = 21.9 %	 = 7.5 %	 = 11.2 %				
	Autres mauvaises réponses		7.5 %	8.2 %	8.4 %	5 %						
	Pas de réponse (Ø)	Ø = 20.4 %	Ø = 17.5 %	Ø = 13.5 %	Ø = 11.1 %	Ø = 7.4 %	Ø = 2.5 %	Ø = 2.8 %				
	Bonne réponse	 = 68.2 %	 = 72.5 %	 = 62.2 %	 = 55.6 %	 = 70.7 %	 = 92.5 %	 = 83.3 %				
	Erreur-type	 = 9.1 %	 = 10 %	 = 16.2 %	 = 22.2 %	 = 12.2 %	 = 5 %	 = 11.1 %				
	Autres mauvaises réponses	2.3 %		8.1 %	11.1 %	9.7 %		2.8 %				
	Pas de réponse (Ø)	Ø = 40.9 %	Ø = 55 %	Ø = 21.6 %	Ø = 22.2 %	Ø = 17 %	Ø = 17.5 %	Ø = 11.1 %				
	Bonne réponse	0 %	 = 5 %	 = 8.1 %	 = 13.9 %	 = 7.3 %	 = 22.5 %	 = 41.7 %				
	Erreur-type	 = 45.4 %	 = 25 %	 = 32.4 %	 = 50 %	 = 29.3 %	 = 45 %	 = 22.2 %				
	Autres mauvaises réponses	13.7 %	15 %	 = 21.6 %  = 16.3 %	13.9 %	 = 19.6 %  = 14.6 % = 12.2 %	 = 15 %	 = 25 %				
	Pas de réponse (Ø)											

Tableau 6.16 – Description des réponses des élèves concernant le cube

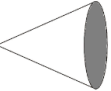












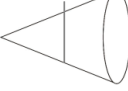

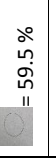






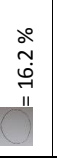




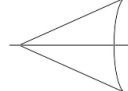








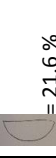





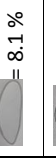












Ages		8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans
Expérimentations	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 11.4 \%$	$\emptyset = 5 \%$	$\emptyset = 8.1 \%$	$\emptyset = 5.6 \%$	$\emptyset = 4.9 \%$	$\emptyset = 0 \%$	$\emptyset = 0 \%$
	Bonne réponse	 $= 54.5 \%$	 $= 85 \%$	 $= 81.1 \%$	 $= 86.1 \%$	 $= 82.9 \%$	 $= 97.5 \%$	 $= 100 \%$
	Erreur-type	 $= 22.7 \%$	 $= 7.5 \%$	 $= 10.8 \%$	 $= 8.3 \%$	 $= 2.5 \%$	 $= 2.5 \%$	
	Autres mauvaises réponses	11.4%	2.5%	0%	0%	9.7%	0%	0%
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 13.7 \%$	$\emptyset = 17.5 \%$	$\emptyset = 16.2 \%$	$\emptyset = 13.9 \%$	$\emptyset = 12.2 \%$	$\emptyset = 15 \%$	$\emptyset = 11.1 \%$
	Bonne réponse	 $= 63.6 \%$	 $= 60 \%$	 $= 59.5 \%$	 $= 50 \%$	 $= 63.4 \%$	 $= 47.5 \%$	 $= 58.3 \%$
	Erreur-type	 $= 18.2 \%$	 $= 15 \%$	 $= 16.2 \%$	 $= 27.8 \%$	 $= 19.5 \%$	 $= 27.5 \%$	 $= 22.2 \%$
	Autres mauvaises réponses	4.5%	7.5%	8.1%	8.3%	4.9%	10%	8.4%
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 20.5 \%$	$\emptyset = 15 \%$	$\emptyset = 21.6 \%$	$\emptyset = 13.9 \%$	$\emptyset = 17 \%$	$\emptyset = 2.5 \%$	$\emptyset = 2.8 \%$
	Bonne réponse	 $= 40.9 \%$	 $= 62.5 \%$	 $= 51.4 \%$	 $= 47.2 \%$	 $= 53.7 \%$	 $= 90 \%$	 $= 83.3 \%$
	Erreur-type	 $= 29.5 \%$	 $= 15 \%$	 $= 21.6 \%$	 $= 27.8 \%$	 $= 19.5 \%$	 $= 7.5 \%$	 $= 11.1 \%$
	Autres mauvaises réponses	9.1%	7.5%	5.4%	11.1%	9.8%		2.8%
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 45 \%$	$\emptyset = 30 \%$	$\emptyset = 32.4 \%$	$\emptyset = 16.6 \%$	$\emptyset = 19.5 \%$	$\emptyset = 12.5 \%$	$\emptyset = 13.9 \%$
	Bonne réponse	0%	 $= 15 \%$	 $= 8.1 \%$	 $= 30.6 \%$	 $= 22 \%$	 $= 15 \%$	 $= 25 \%$
	Erreur-type	 $= 30.8 \%$	 $= 45 \%$	 $= 46 \%$	 $= 38.9 \%$	 $= 43.9 \%$	 $= 52.5 \%$	 $= 44.4 \%$
	Autres mauvaises réponses	 $= 24.2 \%$	10%	13.5%	13.9%	14.6%	20%	16.7%

Tableau 6.17 – Description des réponses des élèves concernant le cône























































Ages		8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans
Expérimentations	Pas de réponse (\emptyset)			$\emptyset = 21.7 \%$	$\emptyset = 16.6 \%$	$\emptyset = 14.6 \%$	$\emptyset = 15 \%$	$\emptyset = 13.9 \%$
	Bonne réponse	0 %	 = 2.5 %	 = 24.3 %	 = 27.8 %	 = 41.5 %	 = 15 %	 = 33.3 %
	Erreur-type	 = 56.8 %	 = 35 %	 = 32.4 %	 = 36.1 %	 = 26.8 %	 = 47.5 %	 = 30.6 %
	Autres mauvaises réponses	20.5 %	27.5 %	21.6 %	$\emptyset = 19.5 \%$	17.1 %	22.5 %	22.2 %
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 18.2 \%$	$\emptyset = 12.5 \%$	$\emptyset = 10.8 \%$	$\emptyset = 13.9 \%$	$\emptyset = 9.8 \%$	$\emptyset = 0 \%$	$\emptyset = 2.7 \%$
	Bonne réponse	 = 27.3 %	 = 45 %	 = 51.4 %	 = 61.1 %	 = 58.5 %	 = 95 %	 = 91.7 %
	Erreur-type	 = 29.5 %	 = 20 %	 = 21.6 %	 = 25 %	 = 19.5 %	 = 5 %	 = 5.6 %
	Autres mauvaises réponses	25 %	$\emptyset = 22.5 \%$	$\emptyset = 16.2 \%$		12.2 %		
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 35 \%$	$\emptyset = 35 \%$	$\emptyset = 59.5 \%$	$\emptyset = 16.7 \%$	$\emptyset = 14.7 \%$	$\emptyset = 15 \%$	$\emptyset = 8.4 \%$
	Bonne réponse	0 %	 = 12.5 %	 = 16.2 %	 = 22.2 %	 = 34.1 %	 = 15 %	 = 33.3 %
	Erreur-type	 = 43.7 %	 = 25 %	$\emptyset = 16.2 \%$	 = 36.1 %	 = 26.8 %	 = 40 %	 = 36.1 %
	Autres mauvaises réponses	22 %	27.5 %	8.1 %	25 %	24.4 %	30 %	22.2 %
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 26.6 \%$	$\emptyset = 27.5 \%$	$\emptyset = 13.6 \%$	$\emptyset = 22.2 \%$	$\emptyset = 12.1 \%$	$\emptyset = 10 \%$	$\emptyset = 5.6 \%$
	Bonne réponse	0 %	 = 17.5 %	 = 13.5 %	 = 16.7 %	 = 48.8 %	 = 27.5 %	 = 50 %
	Erreur-type	 = 44.4 %	$\emptyset = 20 \%$	 = 45.9 %	 = 47.2 %	 = 26.8 %	 = 47.5 %	 = 25 %
	Autres mauvaises réponses	 = 29 %	 = 35 %	 = 27 %	11.1 %	12.1 %	15 %	19.4 %

Tableau 6.18 – Description des réponses des élèves concernant la sphère

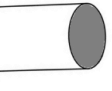


























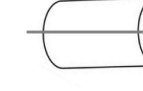


























Ages		8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans
Expérimentations	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 15.9 \%$	$\emptyset = 12.5 \%$	$\emptyset = 5.4 \%$	$\emptyset = 2.8 \%$	$\emptyset = 4.9 \%$	$\emptyset = 2.5 \%$	$\emptyset = 8.3 \%$
	Bonne réponse	 $= 59.1 \%$	 $= 80 \%$	 $= 78.4 \%$	 $= 91.7 \%$	 $= 82.9 \%$	 $= 90 \%$	 $= 91.7 \%$
	Erreur-type	 $= 13.6 \%$	 $= 7.5 \%$	 $= 10.8 \%$	 $= 5.5 \%$	 $= 7.3 \%$	 $= 7.5 \%$	
	Autres mauvaises réponses	11.4 %		5.4 %		4.9 %		
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 13.7 \%$	$\emptyset = 15 \%$	$\emptyset = 5.4 \%$	$\emptyset = 11.1 \%$	$\emptyset = 9.7 \%$	$\emptyset = 5 \%$	$\emptyset = 2.8 \%$
	Bonne réponse	 $= 54.5 \%$	 $= 55 \%$	 $= 51.4 \%$	 $= 69.4 \%$	 $= 61 \%$	 $= 85 \%$	 $= 86.1 \%$
	Erreur-type	 $= 20.4 \%$	 $= 12.5 \%$	 $= 16.2 \%$	 $= 11.1 \%$	 $= 19.5 \%$	 $= 10 \%$	 $= 11.1 \%$
	Autres mauvaises réponses	11.4 %	17.5 %	27 %	8.4 %	9.7 %		
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 15.9 \%$	$\emptyset = 12.5 \%$	$\emptyset = 10.8 \%$	$\emptyset = 13.8 \%$	$\emptyset = 14.6 \%$	$\emptyset = 2.5 \%$	$\emptyset = 5.6 \%$
	Bonne réponse	 $= 72.7 \%$	 $= 67.5 \%$	 $= 51.4 \%$	 $= 55.6 \%$	 $= 53.7 \%$	 $= 90 \%$	 $= 80.6 \%$
	Erreur-type	 $= 11.4 \%$	 $= 15 \%$	 $= 21.6 \%$	 $= 19.4 \%$	 $= 21.9 \%$	 $= 7.5 \%$	 $= 8.3 \%$
	Autres mauvaises réponses		5 %	16.2 %	11.2 %	9.8 %		5.5 %
	Pas de réponse (\emptyset)	$\emptyset = 41.6 \%$	$\emptyset = 35 \%$	$\emptyset = 21.6 \%$	$\emptyset = 22.2 \%$	$\emptyset = 19.5 \%$	$\emptyset = 10 \%$	$\emptyset = 8.3 \%$
	Bonne réponse	0 %	 $= 5 \%$	 $= 10.8 \%$	 $= 16.7 \%$	 $= 22 \%$	 $= 17.5 \%$	 $= 25 \%$
	Erreur-type	 $= 40.2 \%$	 $= 37.5 \%$	 $= 43.2 \%$	 $= 33.3 \%$	 $= 31.7 \%$	 $= 37.5 \%$	 $= 36.1 \%$
	Autres mauvaises réponses	18.2 %	22.5 %	24.4 %	27.8 %	26.8 %	35 %	30.6 %

Tableau 6.19 – Description des réponses des élèves concernant le cylindre

10. Discussions & Conclusions

Afin d'évaluer, dans une perspective développementale, la capacité de l'élève à déterminer les traces laissées par une face de solides et sa capacité à procéder à la découpe mentale d'un solide pour en déduire la forme de la section, l'expérimentation menée reposait sur la réalisation de seize exercices de visualisation spatiale. Tenant compte des découvertes piagésiennes, l'expérimentation a été proposée aux enfants à partir de 8 ans. C'est, en effet, à cet âge que les enfants sont à même de commencer à comprendre les opérations de sections et de les représenter (Piaget & Inhelder, 1972).

Au terme de l'expérimentation et des analyses effectuées, on peut tout d'abord affirmer le fait que les exercices proposés posent problème à un nombre important d'élèves, quel que soit leur âge. Ainsi, les performances en termes de scores moyens calculés (tous les exercices confondus) ont permis de remarquer que plus de cinq élèves de 8 ans sur dix ne parviennent pas à réaliser les exercices demandés. À 14 ans, ces exercices posent encore des difficultés à plus de trois élèves sur dix. Alors que ni les exercices proposés, ni l'échantillon de départ ne permettent de comparer, au sens strict, les résultats de cette expérimentation aux résultats des EENC, on peut néanmoins mettre en évidence le fait, qu'indépendamment de l'épreuve considérée, les lacunes des élèves en ce qui concerne l'acquisition de l'habileté de visualisation restent importantes et ce, durant la majeure partie de la scolarité (chapitre 4).

En ce qui concerne les différences de performances selon l'âge des élèves, il a été montré que, globalement, les performances en termes de scores moyens progressent en fonction de l'âge ($F(6,267) = 6.80, p = .000$). Les post hoc de Games-Howell ont, quant à eux, permis de situer à quels âges les différences de scores moyens peuvent être remarquées. Il en résulte que les scores moyens des élèves âgés de 8 ans, 9 ans, 10 ans, 11 ans et 12 ans ne diffèrent pas de manière significative les uns des autres et que les scores moyens des élèves âgés de 11 ans, 12 ans, 13 ans et 14 ans ne diffèrent pas non plus de manière significative entre eux. A contrario, les scores moyens des groupes d'élèves âgés de 8 ans, 9 ans et 10 ans diffèrent de manière significative des scores moyens des élèves âgés de 13 ans et 14 ans. Ces résultats, présentés à partir de scores moyens, permettent donc de remarquer que les performances des élèves plus âgés (deuxième et troisième secondaire) sont significativement meilleures que celles des élèves de primaire. Si cette évolution est attendue, force est de constater qu'elle s'effectue tardivement. Ceci peut

être expliqué par le fait que dans les programmes d'études, l'habileté de visualisation spatiale est peu voire pas du tout travaillée dans l'enseignement primaire (contrairement à ce que préconisent certains auteurs, Cf. Mathé, 2012). Et, quand elle l'est, les intitulés du programme sont rédigés de manière telle que ce n'est, en fin de compte, pas l'habileté de visualisation spatiale qui est exercée (Cf. chapitre 3). On a ainsi pu remarquer, lors de l'analyse des programmes d'études, que l'enseignement de connaissances géométriques ne s'effectuait que par le biais de manipulations concrètes. Si ces exercices de manipulations concrètes sont utiles, voire nécessaires, (Driscoll, 1983 ; Suydam, 1986) -à condition que l'enseignant soit compétent dans la manipulation des objets utilisés (Sowell, 1989)- ; il n'est spécifié à aucun endroit dans les programmes d'études qu'une phase de conceptualisation doit être proposée aux élèves afin que ceux-ci mentalisent l'action concrètement effectuée avec de réels objets. Pourtant, celle-ci s'avère cruciale. En effet, la sphère n'est-elle pas un des solides le plus souvent manipulé par les enfants (ballon de football, ballon de basket, bille...) ? La manipulation ne garantit pas le succès de la réalisation de la tâche (Baroody, 1989). Le simple fait de (faire) manipuler ces solides ne suffit pas et il semble alors qu'un travail de conceptualisation doive être mené avec les élèves. Dans le programme d'études de mathématiques de l'enseignement secondaire, seul un intitulé porte explicitement sur l'anticipation mentale. Si cet intitulé ne peut expliquer à lui seul la différence de performances qui existe entre les plus jeunes élèves et ceux de 13-14 ans, on peut alors supposer que ces derniers ont acquis une maturité suffisante pour parvenir à visualiser mentalement des objets dans l'espace.

Suite à l'évaluation des performances en termes de scores moyens pour l'ensemble des exercices (toutes empreintes/coupes et solides confondus), il a semblé pertinent de considérer les scores moyens en fonction des exercices d'empreintes et de coupes demandées (indépendamment des solides considérés). L'objectif étant alors de savoir s'il existe des différences de scores moyens pour chacun des exercices d'empreintes ou de coupes en fonction de l'âge des élèves. Concernant les exercices d'empreintes sans coupe, on a pu constater une progression continue des performances en fonction de l'âge des élèves. Concernant les exercices de coupes transversales, il a été mis en évidence une augmentation des performances à partir de 11 ans et un écart de performances plus important entre les élèves âgés de 12 ans et ceux de 13 et 14 ans. Les résultats concernant les coupes longitudinales diffèrent des résultats des coupes transversales en ce sens que l'augmentation des performances n'a été remarquée qu'à partir de 12 ans. Comme pour les exercices de coupes transversales, un écart important apparaît entre les élèves âgés

de 12 ans et ceux âgés de 13 et 14 ans. Concernant les coupes obliques, on a pu remarquer la faiblesse des scores moyens en comparaison aux autres empreintes et coupes demandées. Dans le même temps, une progression continue des performances avec l'âge et un écart plus important entre 13 et 14 ans ont été constatés. Suite à ces résultats, on peut donc affirmer qu'il existe une progression continue des scores moyens en fonction de l'âge quelle que soit l'exercice d'empreinte ou de coupe demandé. On peut également affirmer qu'il existe une augmentation plus importante des performances à partir de 13 ans pour les coupes transversales et longitudinales et à 14 ans pour les empreintes sans coupe et les coupes obliques. Pour ces dernières coupes, force est de constater que les scores moyens restent, pour chacun des âges, relativement faibles.

Subséquent à l'analyse des scores moyens des empreintes et des coupes demandées indépendamment des solides, l'analyse de scores moyens pour chaque solide géométrique (toutes empreintes/coupes confondues) a été réalisée. Le but était alors de rendre compte de différences de scores moyens pour chacun des solides considérés en fonction de l'âge des élèves. Concernant le cube, les performances des élèves âgés de 8 à 12 ans sont sensiblement identiques. Par contre, un écart de performances a été confirmé entre les élèves plus jeunes et ceux âgés de 13 et 14 ans. Concernant le cône, les résultats montrent que, globalement, il existe une progression continue des performances en fonction de l'âge. Concernant la sphère, l'ensemble des élèves ont de faibles scores moyens (à 14 ans, ce score dépasse de peu les 50%) ; cependant, une forte progression est remarquée en fonction de l'âge. Concernant le cylindre, on remarque une progression lente dépendamment de l'âge et un écart de performances plus important entre les élèves âgés de 12 ans et ceux âgés de 13 et 14 ans. En résumé, l'ensemble des résultats concernant l'analyse des scores moyens dépendamment des solides considérés laisse apparaître une progression dans les performances en fonction des âges pour le cône, le cylindre et la sphère (bien que, pour cette dernière, les performances restent assez faibles). Pour le cube, il s'agit davantage d'un écart de performances entre les élèves âgés de 8 à 12 ans et les élèves âgés de 13 et 14 ans, que d'une réelle progression linéaire.

Après avoir mis en évidence des différences de performances en fonction de l'âge des élèves, il a été choisi de considérer distinctement les seize exercices de visualisation proposés, c'est-à-dire, les quatre solides ainsi que les empreintes et coupes qui leur sont associés, sans tenir compte de l'âge des élèves. Les analyses effectuées par le biais de

la statistique implicative ont d'abord permis de mettre en évidence trois catégories d'exercices réussis de manière semblable par les élèves. L'arbre des similarités obtenu distingue trois catégories. La première catégorie comprend les exercices relatifs au cube, au cône et au cylindre (excepté les exercices « coupes obliques » pour ces trois solides). La deuxième catégorie ne comporte que les exercices relatifs à la sphère (exception faite de la coupe transversale de la sphère). Enfin, en troisième catégorie, on retrouve les exercices relatifs aux coupes obliques. Ceux-ci sont donc réussis de la même manière par les élèves (il est à noter que la sphère coupe oblique apparaît dans la deuxième catégorie).

La production d'un graphe implicatif a ensuite permis de mettre en évidence les liens existants entre la maîtrise des différents exercices de visualisation sur la base de la complexité intrinsèque de ces derniers. La classification hiérarchique qui en résulte est présentée sous une forme linéaire. Cela signifie que, le plus souvent, la maîtrise d'un exercice particulier (voire de deux exercices au maximum, cf. la « sphère empreinte ») implique presque la maîtrise d'un autre exercice. La lecture de cette classification permet d'affirmer que si les coupes obliques et les exercices relatifs à la sphère sont maîtrisés par les élèves alors il y a de fortes probabilités que l'ensemble des exercices le soit également. En d'autres termes, il apparaît donc que les exercices de visualisation basés sur les coupes obliques et l'utilisation de la sphère sont d'une complexité plus importante que les autres exercices. Parallèlement à cela, la lecture de cette classification conduit à remarquer que les exercices les moins complexes sont ceux relatifs aux empreintes sans coupe pour le cube, le cône et le cylindre. L'empreinte de la sphère est, quant à elle, quel que soit l'âge des élèves, mal représentées (seuls 33,3% des élèves âgés de 14 ans dessinent un point). Il apparaît en effet que c'est la forme 2D du solide (c'est-à-dire le cercle) qui a été dessinée massivement. On peut s'interroger sur les raisons de ce résultat d'autant plus que, contrairement aux autres solides présentés, la forme de la base de la sphère est directement visible par tous les élèves. Il semble donc que les élèves se fient davantage aux connaissances conventionnelles qu'ils possèdent du solide (même si, dans ce cas-ci, les connaissances sont fausses) plutôt qu'aux informations qu'ils peuvent retirer de l'observation directe de ce dernier. Dans ce cas-ci, il semble donc que ce que les élèves voient ne s'impose pas forcément à eux.

Concernant les erreurs-types commises, celles-ci sont bien souvent liées à la non prise en compte de la 3D. On remarque donc que l'enfant a plutôt tendance à représenter un volume par une image plate. La connaissance des volumes n'est donc pas innée (Piaget,

1948) et est le résultat d'un apprentissage. L'analyse des erreurs-types a également permis de remarquer que les élèves commettent globalement les mêmes erreurs quelle que soit leur âge. Ces erreurs peuvent être considérées comme des conceptions préalables erronées, c'est-à-dire comme de fausses connaissances que l'élève mobilise de manière spontanée pour répondre à une question ou résoudre un problème (Reuter, 2007). Le plus souvent installées avant tout apprentissage, ces conceptions sont « les premiers liens que l'apprenant peut avoir avec les connaissances nouvelles qu'on cherche à lui faire acquérir » (Giordan & De Vecchi, 1994) et sont donc à l'origine d'« une grille de lecture et de prévision du monde » (Giordan, 1996). Souvent, elles constituent un solide point d'attache et sont « résistants aux changements » (Jarrosson, 1992 ; Treagust & Duit, 2008) puisqu'ils s'ancrent dans une « expérience personnelle (...) avec des années de confirmation » (Shambaugh & Magliaro, 2006). Compte-tenu des erreurs-types commises par les élèves, de leur récurrence au travers des âges et de leur importance (en termes de pourcentages d'erreurs-types commises), il paraît nécessaire que l'enseignant puisse en avoir conscience et mette l'accent sur leur apparition (comme cela a été fait ici) comme sur leur transformation.

Pour conclure, cette expérimentation a permis de mettre en évidence des lacunes ciblées chez les élèves en fonction de leur âge en ce qui concerne l'habileté de visualisation spatiale relative à la représentation d'empreintes et de formes des surfaces de sections de solides. Il en résulte que les pourcentages de scores moyens augmentent au fur et à mesure que l'âge augmente. On remarque que, globalement, il existe un écart plus important en termes de scores moyens entre les élèves âgés de 8, 9, 10, 11 ans, 12 ans et les élèves âgés de 13 et 14 ans. On remarque également que les performances diffèrent en fonction des empreintes/coupes demandées et des solides considérés. Ainsi, il apparaît que les représentations des empreintes sans coupe sont globalement correctes alors qu'il n'en est pas de même pour les coupes en oblique. Il apparaît également que si les exercices effectués à partir du cube, du cône et du cylindre posent globalement moins de difficultés, il n'en va pas de même pour la sphère.

Alors que l'habileté de visualisation spatiale est considérée comme étant un indicateur (voire un prédicteur) de succès pour l'apprentissage d'une variété de domaines académiques, techniques et professionnels (Humphreys, Lubinski, & Yao, 1993 ; Sorby, 1999 ; Nagy-Kondor, 2014), il semble nécessaire de travailler cette habileté dès la troisième année de l'enseignement primaire en faisant émerger et en déconstruisant les conceptions préalables erronées des élèves par un travail comprenant une phase

d'observation, de manipulation et, comme le démontre le cas de la sphère, de conceptualisation.

Une des perspectives offertes par cette étude est sa réplication dans des situations différentes. Alors que la comparaison des résultats de cette expérimentation avec les résultats des EENC n'est pas possible étant donné le manque de données disponibles, il pourrait cependant être intéressant de voir si les performances diffèrent en fonction de la présentation des solides (solides représentés vs solides réels présentés) (Berthelot & Salin, 1992). Aussi, on peut aisément proposer les mêmes exercices de visualisation sur des supports informatisés tels les tableaux blancs interactifs ou les tablettes numériques (La Ferla et al., 2009 ; Toptas, Celik & Karaca, 2012 ; Bertelot, 2014) à des fins d'évaluation ou d'enseignement.

PARTIE III

EVALUER L'HABILETE DE NAVIGATION

SPATIALE À PARTIR

D'ENVIRONNEMENTS VIRTUELS

CHAPITRE 7 UN ENSEMBLE INTÉGRÉ

D'EXPÉRIMENTATIONS

Chapitre 7 **Un ensemble intégré d'expérimentations**

1. Introduction

Dans le domaine de la cognition spatiale, les premières études ont été menées en éthologie (Tolman, 1948 ; Mittelstaedt & Mittelstaedt, 1980 ; Etienne, Maurer & Saucy, 1985). S'en sont suivies de multiples recherches réalisées auprès de jeunes enfants, d'enfants et d'adultes présentant une pathologie, de jeunes adultes et d'adultes plus âgés (Jansen-Osmann, Schmid & Heil, 2007a ; Gras, Daniel, Labiale, Piolino, Gyselinck, 2012). Ces recherches ont toutes pour objectif de comprendre et d'évaluer, dans des contextes différents, la manière dont les individus mettent en œuvre des habiletés spatiales dans la résolution de problèmes spatiaux. Alors que les habiletés de visualisation, de rotation mentale et de changements de perspectives sont le plus souvent exercées et évaluées dans le micro-espace (notamment par le biais d'exercices « papier-crayon » de type épreuve psychométrique, dictée spatiale, etc. (espace représenté) ou des exercices de localisation d'objets à l'intérieur d'une pièce), l'évaluation d'autres habiletés, telle que l'orientation spatiale ou la navigation spatiale, nécessite l'utilisation d'environnements à plus large échelle, relative au méso-espace. Les premières études, menées en orientation et navigation spatiale chez l'humain, datent des années 80' et s'effectuaient dans des environnements réels. Depuis l'avènement des nouvelles technologies et des techniques basées sur l'usage de la réalité virtuelle, ces expérimentations se sont multipliées. Cependant, les exercices proposés portent essentiellement sur la localisation de repères, l'estimation de distances, le pointage de directions, les descriptions verbales d'itinéraires. Seules quelques études concernent la reproduction de routes chez les enfants et adultes atteints de déficiences intellectuelles (Farran *et al.*, 2013 ; Courbois *et al.*, 2012 ; Mengue-Topio, 2011), et plus rares encore sont celles consacrées à la construction des modèles spatiaux d'itinéraires chez l'enfant et l'adolescent non-pathologiques (Lingwood, Blades, Farran, Courbois & Matthews, 2015 ; Nys, Gyselinck, Orriols & Hickmann, 2015). Pourtant, les enfants comme les

adolescents ne sont-ils pas amenés à parcourir des itinéraires dans des environnements différents qu'ils ne connaissent pas ? N'est-il pas important de savoir ce qui détermine le niveau de complexité des exercices de navigation et s'ils parviennent, en fin de compte, à reproduire un chemin ? Comme le mentionne Allen (1987), comprendre comment la connaissance de l'itinéraire est acquise et utilisée, est un problème spatial intéressant par lui-même ; cependant, il représente un défi. Alors qu'à l'école, dès l'âge de 5 ans, l'habileté de navigation spatiale doit être exercée lors des cours de géographie (cf. chapitre 3), on remarque que son acquisition n'est cependant pas vérifiée (cf. chapitre 4). Comme le mentionnent Nys *et al.* (2015), le manque d'informations disponibles à ce sujet nécessite alors d'effectuer des recherches pour déterminer la façon dont les enfants apprennent à représenter et mémoriser des itinéraires.

Menées dans une perspective développementale, les expérimentations réalisées dans le cadre de ce travail portent sur la reproduction d'itinéraires effectuée dans des environnements virtuels prenant l'allure de villes. L'objectif de ces expérimentations est double. D'une part, il s'agit de s'interroger sur les paramètres qui influencent la complexité des exercices de navigation proposés et, d'autre part, de prendre connaissance des stratégies de navigation que les élèves déclarent utiliser lors de la reproduction d'itinéraires. Les deux questions principales qui sont alors formulées et auxquelles les expérimentations menées auront pour objectif d'apporter des éléments de réponse sont :

« Quels sont les paramètres qui influencent la complexité des exercices de navigation proposés ? »

« Quelles sont les stratégies que déclarent mobiliser les participants pour réaliser les exercices de navigation proposés ? »

Pour répondre à ces deux questions principales, quatre expérimentations ont été menées à partir d'environnements virtuels. Ce chapitre 7 a pour objectif de présenter le matériel utilisé ainsi que les protocoles expérimentaux menés. Le chapitre 8 est consacré à répondre à la première question principale portant sur les paramètres qui influencent la complexité des exercices de navigation proposés tandis que le chapitre 9 porte sur la seconde question relative aux stratégies de navigation déclarées.

2. Matériel & méthodes

2.1 Description des environnements utilisés

2.1.1 Des villes virtuelles créées sur mesure

Pour la réalisation des expérimentations, des environnements virtuels ont été générés. Ces environnements ont été conçus à partir de Esri City Engine® afin de prendre l'apparence de villes, en rendu 3D.

Dans leurs versions de base, les villes simulées comportent un bâti de couleur grise avec des fenêtres grises claires, espacées de façon régulière. La route est de couleur grise foncée, les trottoirs sont en gris clair et le ciel est bleu, sans aucun indice visuel (pas de nuages, pas de soleil, pas de nuances de coloration sur les façades). L'illustration de la ville dans sa version de base est proposée en Figure 7.1.

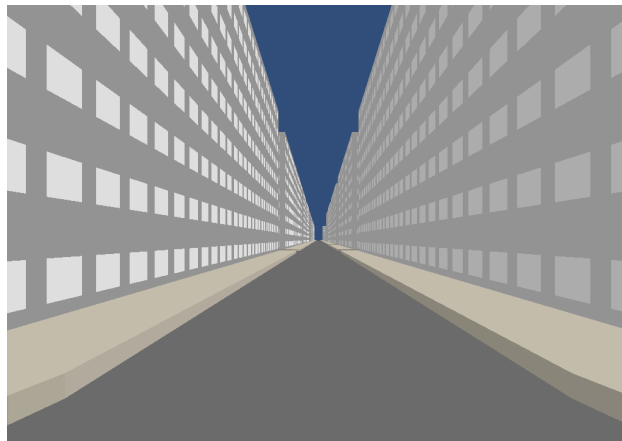


Figure 7.1 – Aperçu de l'environnement virtuel dans sa version de base

En fonction des besoins de la recherche, les caractéristiques du bâti des villes peuvent être changées. Ces changements peuvent constituer des repères proximaux ou distaux (Appleyard, 1969 ; Appleyard, 1970 ; Steck & Mallot, 2000). En modifiant les paramètres qualitatifs, on peut insérer des points de repères de nature différente (bâtiments colorés, bâtiments remarquables). Plusieurs colorations de bâti sont prévues et peuvent être sélectionnées par l'expérimentateur. Ling & Blades (2002) distinguent deux types de couleurs : les couleurs focales (facilement verbalisables, telles que les couleurs primaires et secondaires) et non-focales (difficilement verbalisables, mixte entre plusieurs couleurs). Dans le cadre des présentes expérimentations, ce sont des

couleurs focales qui ont été utilisées (rouge, bleue, verte, jaune, bleue turquoise, magenta...). Concernant les bâtiments remarquables, ceux-ci sont de deux sortes : soit ils sont semblables à des bâtiments plus traditionnels (maison particulière, chalet, tours...), soit ils s'apparentent à des bâtiments pouvant être connus des participants (tour Eiffel, temple grec...). Dans tous les cas, ces bâtiments remarquables constituent des repères pouvant avoir une valeur culturelle plus ou moins importante pour l'individu et pouvant ou non être associés à son histoire individuelle (Golledge et Spector, 1978 ; Presson & Montello, 1988). Afin de ne pas défavoriser les enfants plus jeunes et de ne pas multiplier le nombre de variables, aucune information écrite (noms de rues, enseignes...) n'apparaît dans les villes simulées. Il est à noter que les expérimentations décrites dans le cadre de ce travail ne portent que sur l'utilisation de bâtiments colorés.

En modifiant les paramètres quantitatifs, l'expérimentateur peut déterminer le pourcentage de points de repères présents dans la ville, c'est-à-dire le pourcentage de façades colorées (ou de bâtiments remarquables) présents dans l'environnement (de 0% à 100% de coloration du bâti ou de 0% à 100% de bâtiments remarquables). Le pourcentage de bâtiments colorés comprend la même proportion de chacune des couleurs sélectionnées.

Concernant la localisation des points de repères (coloration du bâti ou placement de bâtiments remarquables), celle-ci peut être soit déterminée de manière aléatoire (dans ce cas, c'est l'ordinateur qui effectue le placement des points de repères), soit fixée par l'expérimentateur (ce dernier place alors les points de repères aux endroits qu'il juge pertinent). Dans le cadre des expérimentations décrites ci-après, les repères ont été placés de façon aléatoire.

2.1.2 V-Squarecity & V-Sinuositycity, deux villes virtuelles distinctes

Les villes virtuelles créées sont à distinguer en fonction du plan, d'après lequel elles ont été conçues. Les plans sont de deux types : soit il s'agit d'un plan régulier, soit il s'agit d'un plan irrégulier.

Définie selon un plan régulier ou hippodaméen (voir Figure 7.2), la première ville est nommée V-Squarecity (Virtual Squarecity). Celle-ci est caractérisée par des routes qui se croisent en angle droit, créant ainsi des îlots carrés ou rectangulaires (Louail, 2010). Dans cette ville, les sections de routes sont de mêmes longueurs.

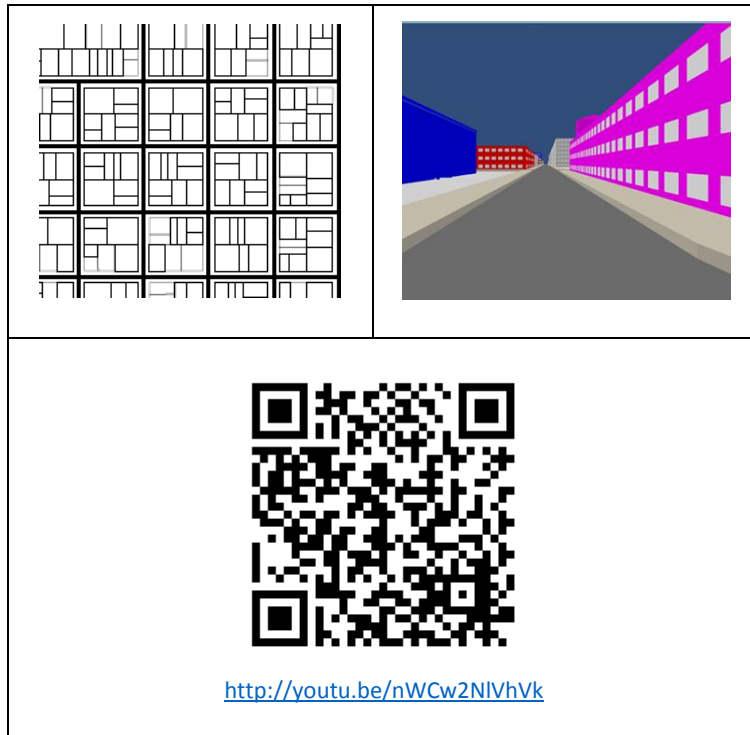


Figure 7.2 - Illustrations de V-Squarecity (plan de la ville à gauche ; point de vue égocentrique à droite et QR Code en dessous)

Organisée selon un plan irrégulier (voir Figure 7.3), la seconde ville virtuelle est nommée V-Sinuosity (virtual Sinuosity). Dans cette ville, les routes partent d'un point central et peuvent être de longueurs variables. Elles ne sont pas perpendiculaires les unes par rapport aux autres et peuvent comporter plusieurs embranchements situés à droite et/ou à gauche, ce qui est impossible dans V-Squarecity.

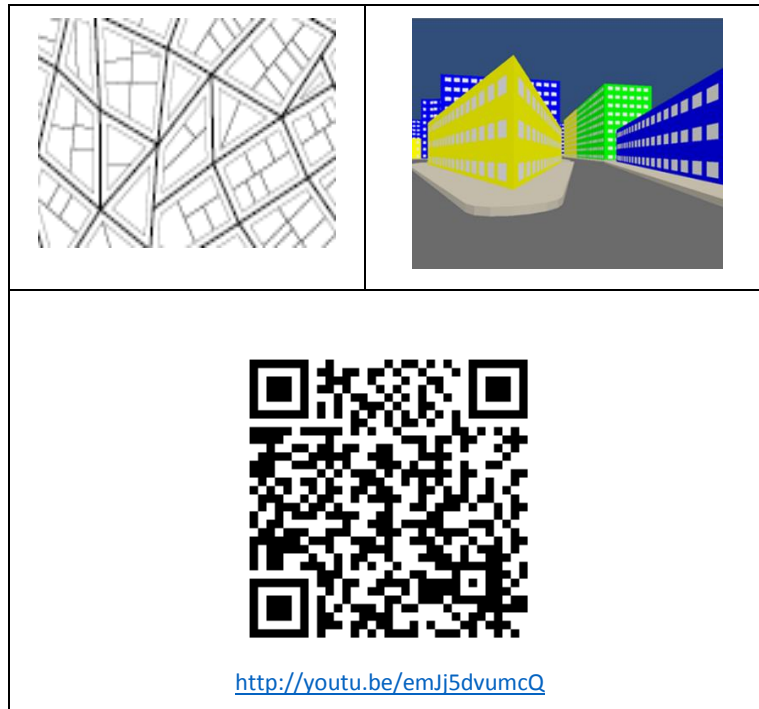


Figure 7.3 - Illustrations de V-Sinuosity (plan de la ville à gauche ; point de vue égo-centrique à droite et QR Code en dessous)

Les deux villes virtuelles créées ont chacune une surface estimée d'un km². Dans la littérature, un environnement de cette taille est défini comme un méso-espace, un *large-scale place* (Garling & Golledge, 1987), un espace environnemental (Montello, 1993) ou encore un environnement de navigation (Tversky, 1991 ; Montello, 2001), en ce sens que le déplacement de l'individu est requis pour prendre connaissance de l'ensemble de l'environnement. Les limites des villes (Lynch, 1960) sont, quant à elles, représentées par le vide.

Même si, à l'heure actuelle, il est faisable de concevoir des environnements d'un fort réalisme (Larrue, 2011 ; voir aussi la partie Conclusion et perspectives de ce travail), l'objectif de la présente étude a été de développer et d'expérimenter des environnements simplifiés. Dans ces derniers, il est possible de modifier différentes caractéristiques des parcours, du bâti et de la ville afin de déterminer l'influence de ces modifications sur les performances de navigation des individus ou sur les stratégies qu'ils mettent en œuvre dans la résolution des exercices demandés.

2.2 Description des exercices spatiaux demandés

Les villes virtuelles, telles que générées, permettent la réalisation de trois exercices quotidiennement réalisés par l'individu, en lien avec l'habileté de « navigation spatiale » : les exercices de navigation par « reproduction » ou « reproduction intégrale de la route » (Mengue-Topio, 2011), les exercices de navigation par « décentration » et les exercices spatiaux relatifs à l'intégration du chemin.

2.2.1 Exercices de navigation par « reproduction » (parcours de navigation par « reproduction »)

Les exercices de navigation par « reproduction » consistent à suivre des parcours balisés et à reproduire à l'identique ces parcours sans l'aide des balises (il s'agit des parcours de navigation par « reproduction »). La consigne, donnée avant de débiter l'activité, est la suivante : « Tu te trouves dans une ville que tu ne connais pas, tu dois suivre le chemin indiqué par les balises bleues. À la fin du parcours, un temps d'arrêt sera marqué. Tu seras ensuite remis à ton point de départ et il te sera demandé de refaire exactement le même chemin mais les balises bleues auront disparues ». Concrètement, à l'aide d'une manette de jeu, le participant parcourt un itinéraire dans l'environnement virtuel en suivant les balises (points bleus indiquant le chemin à suivre, Figure 7.4). Il ne peut pas choisir un autre itinéraire que celui qui est balisé. Dès que le participant est arrivé à la fin du parcours, il est remplacé automatiquement au point de départ et doit reproduire le même chemin sans la présence des balises. Les exercices de navigation par « reproduction » comportent à chaque fois plusieurs parcours de navigation par « reproduction ». Chacun d'eux sont réalisés dans des parties différentes de la ville. Ainsi, est évaluée la capacité à reproduire des itinéraires dans des environnements inconnus, non-familiers. Aucune limite de temps n'est fixée pour la réalisation des exercices. Chaque participant réalise la même série de parcours dans le même ordre.

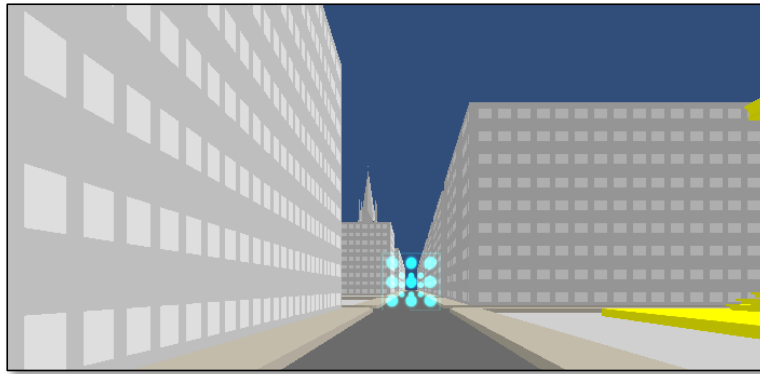


Figure 7.4 - Illustration d'une balise dans la ville virtuelle

2.2.2 Exercices de navigation par « décentration » (parcours de navigation par « décentration »)

Les exercices de navigation par « décentration » consistent à suivre un parcours balisé et à effectuer le même parcours en sens inverse, sans l'aide des balises (il s'agit des parcours de navigation par « décentration »). La reproduction de parcours est ici caractérisée par un changement de perspectives, se rapportant au processus de décentration (Beaudichon & Bideaud, 1979 ; Borjon Sultan, 2010). Donnée avant de débiter l'activité, la consigne est la suivante : « Tu te trouves dans une ville que tu ne connais pas, tu dois suivre le chemin indiqué par les balises bleues. À la fin du parcours, un temps d'arrêt sera marqué. Automatiquement, tu seras amené à effectuer un demi-tour sur toi-même. Une fois ce demi-tour accompli, il te sera alors demandé de refaire exactement le même chemin, en sens inverse, sans les balises bleues ». Concrètement, le participant parcourt un itinéraire dans l'environnement virtuel en suivant les balises (points bleus indiquant le chemin à suivre, Figure 7.4) à l'aide d'une manette de jeu, sans pouvoir choisir un autre itinéraire que celui qui est balisé. Dès que l'enfant est arrivé à la fin du parcours, l'ordinateur procède automatiquement à une rotation de 180° (un demi-tour) du point de vue du participant. Une fois la rotation effectuée, l'individu doit reproduire le même chemin en sens inverse sans la présence des balises. Plusieurs parcours de navigation par « décentration » sont effectués par le participant. Tout comme pour l'exercice de navigation précédent, chacun des parcours est réalisé dans des parties différentes de la ville. Ainsi, est évaluée la capacité à reproduire des itinéraires en sens inverse dans des environnements inconnus, non-familiers. Aucune limite de temps n'est fixée. Chaque participant réalise la même série de parcours dans le même ordre.

2.2.3 Exercices spatiaux relatifs au mécanisme d'Intégration du Chemin (IC)

Le troisième exercice repose sur le mécanisme d'intégration du chemin et consiste à revenir à son point de départ, en empruntant un chemin inconnu après avoir intégré, dans le temps, les translations et les rotations relatives aux déplacements effectués. Mécanisme d'abord étudié en éthologie (Mittelstaedt & Mittelstaedt, 1980 ; Etienne, Teroni, Maurer & Saucy, 1985 ; Mittelstaedt & Glasauer, 1991), il est, depuis plusieurs années, envisagé chez l'être humain (Fujita, Klatzky, Loomis, & Golledge, 1993 ; Samuel & Maurer, 2005 ; Vidal, 2011). Concrètement, après avoir suivi des balises dans la ville virtuelle, le participant doit être capable de retrouver son point de départ en prenant un raccourci.

La partie pratique du présent écrit porte sur les deux premières activités de navigation spatiale (exercices de navigation par « reproduction » et exercices de navigation par « décentration »). Davantage d'informations concernant le troisième exercice peuvent être trouvées dans la partie « conclusions & perspectives » du présent écrit.

2.3 Caractérisation des parcours de « reproduction » et de « décentration » en termes de nombre de points de décision et de nombre de points d'inflexion

Lors des exercices de navigation par « reproduction » et par « décentration », le participant est amené à effectuer plusieurs parcours. Ces parcours sont tous caractérisés par un nombre de points de décision (nPD) et par un nombre de points d'inflexion (nPI) différent.

Les points de décision (PD) correspondent à chaque intersection où le sujet est amené à faire un choix quant à la direction qu'il veut prendre (soit continuer tout droit, soit prendre une rue à droite ou à gauche). Chaque intersection constitue donc un point de décision indépendamment du fait que le participant change ou non de direction (Klippel, Tappe & Habel, 2003 ; Quesnot & Roche, 2015). Le nPD d'un parcours détermine sa longueur.

Les points d'inflexion (PI) correspondent, quant à eux, à chaque intersection où le sujet doit effectivement changer de direction (Smith, 2015). Quand le participant prend une des rues qui se trouve à sa droite ou à sa gauche, il s'agit d'un point d'inflexion. En

d'autres termes, un point d'inflexion est *de facto* un point de décision tandis qu'un point de décision ne constitue pas forcément un point d'inflexion.

Des parcours de longueurs variables (comportant 5, 7, 9 et 13 points de décision) avec plus ou moins de changements de direction (1, 3, 4 et 5 point(s) d'inflexion) ont été proposés aux participants. Dans les textes, tableaux et graphiques, les parcours sont décrits en termes de nombres de points de décision et point(s) d'inflexion de la manière suivante « nPD_nPI ». Ainsi, le nombre de points de décision précède toujours le nombre de points d'inflexion. Un parcours nommé « 5_2 » décrit un parcours composé « de 5 points de décision et 2 points d'inflexion » alors que le parcours nommé « 9_1 » décrit un parcours composé « de 9 points de décision et 1 point d'inflexion ».

2.4 Evaluer la connaissance des itinéraires en privilégiant le point de vue égocentrique et l'activité physique du participant

2.4.1 Le point de vue égocentrique

Alors que dans les environnements virtuels et, en particulier, lors de tâches de navigation spatiale le point de vue adopté par le participant est une variable importante, les éléments issus de la revue de la littérature ont permis de déterminer le point de vue à privilégier pour la réalisation des exercices visés.

Pour rappel, pour se déplacer, les individus utilisent deux types de connaissances : la connaissance de l'itinéraire et la connaissance de la configuration (cf. Siegel & White, 1975 ; Thorndyke & Hayes-Roth, 1982). Pendant la navigation, chacune de ces connaissances est basée sur un cadre de référence des représentations internes (égocentrique ou allocentrique) qui dépend souvent du point de vue pris. Suite à leurs expérimentations, Wallet, Sauzón, Larrue & N'Kaoua (2013) affirment que l'apprentissage au niveau du sol (first-person perspective ou ground-level) implique une représentation principalement égocentrique et facilite la compréhension de la route, tandis que l'apprentissage en mode perspective aérienne (aerial perspective) implique des représentations principalement allocentriques et favorise l'acquisition de la connaissance de la configuration.

Ayant ici pour objectif d'évaluer la connaissance des itinéraires, c'est le point de vue égocentrique qui a été choisi. Il est cependant possible de modifier les paramètres de

l'environnement afin de changer le point de vue (passage à un point de vue allocentrique).

2.4.2 Activité du participant et interfaces comportementales

Tout comme le point de vue adopté, l'activité du participant constitue un aspect important dans les tâches de navigation spatiale. Un des quatre types de navigation dans des environnements virtuels présenté par Wilson, Foreman, Gillett & Stanton (1997) est la navigation physique active. Cette dernière est caractérisée par le fait que le participant se déplace dans l'environnement par interactions motrices. Ces interactions motrices, établies entre le participant et la machine, sont rendues possibles par le biais d'interfaces comportementales (Fuchs & Moreau, 2003). Dans le cadre des expérimentations ici menées, les participants naviguent activement dans une ville. La perception multi-sensorielle de l'environnement a cependant été initialement et volontairement réduite à des interfaces visuelle et uni-manuelle. Ceci afin de faire émerger des stratégies cognitives de navigation spatiale et de contraindre les participants à se focaliser sur les aspects visuels de la tâche. Sans nier l'importance des composantes kinesthésiques, somesthésiques et vestibulaires, l'intérêt n'a donc pas été porté sur ces aspects. La composante motrice n'est ici sollicitée que dans le but de rendre le participant actif (Gaunet, Vidal, Kemeni & Berthoz, 2001). L'interface comportementale choisie est une interface uni-manuelle, une manette de jeu, plus communément appelée joystick. Pour des raisons ergonomiques, l'utilisation du joystick a été préférée à l'utilisation de la souris ou du clavier (Ventura, Shute, Wright & Zhao, 2013). Les commandes, entre le joystick et l'ordinateur, sont gérées par le moteur de jeu Unity®.

Très concrètement, le participant est muni d'un joystick et assis face à un écran de 25 pouces sur lequel est diffusé le rendu 3D de l'environnement (Figure 7.5). Il peut naviguer dans l'environnement virtuel à son propre rythme (que ce soit lors du parcours balisé ou du parcours non-balisé) et ainsi stocker les informations qu'il juge nécessaires au fur et à mesure de ses déplacements. Si les déplacements sont effectués de manière discontinue, c'est-à-dire que le participant peut effectuer des arrêts à chaque croisement entre deux rues, la vitesse de déplacement reste, quant à elle, constante. Celle-ci renseigne le participant sur la longueur des déplacements réalisés.



Figure 7.5 - Participant qui navigue dans l'environnement virtuel à l'aide de la manette de jeu

Le fonctionnement du joystick est expliqué aux enfants avant la réalisation des exercices de navigation. Dans un environnement autre que celui qui sera utilisé dans le cadre des expérimentations, le participant se familiarise à l'utilisation du joystick. L'expérimentateur explique le fonctionnement du joystick et le participant le manipule de différentes façons (Tableau 7.1) :

Tableau 7.1 – Fonctionnement du joystick

« Pousser le joystick vers l'avant »	afin d'effectuer un déplacement en avant dans l'environnement virtuel
« Effectuer une rotation du poignet vers la droite/Tourner le poignet vers la droite »	permet de déplacer le champ de vision vers la droite
« Effectuer une rotation du poignet vers la gauche/Tourner le poignet vers la gauche »	permet de déplacer le champ de vision vers la gauche
« Cliquer sur le bouton central rouge »	lorsque le participant pense être arrivé à la fin du parcours (soit au point d'arrivée pour les parcours de reproduction, soit au point de départ pour les parcours de décentration)
« Cliquer sur le bouton de couleur bleu »	dans le cas où le participant se perd
« Appuyer sur la gâchette arrière rouge »	Pour passer au parcours suivant

2.5 Entretiens cognitifs

Suite à la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » ou par « décentration », un bref entretien cognitif est mené avec chaque participant. Ces entretiens sont basés sur la procédure de verbalisation qui consiste à faire exprimer aux

participants les actions qu'il mène (verbalisation simultanée) ou qu'il a précédemment effectuées (verbalisation rétrospective) (Dogu & Erkip, 2000 ; Chebat, Gelinas-Chebat & Therrien, 2005 ; Tenbrinck, 2008 ; Tenbrinck, D'Odorico, Hertzberg, Mazman, Meneghetti, Reshott & Yang, 2012). Dans le cadre des expérimentations ici menées, la passation de cet entretien permettait à l'expérimentateur de prendre connaissance des stratégies de navigation déclarées être utilisées par les participants lors de la navigation dans la ville.

Lors des pré-expérimentations menées¹, il avait été demandé aux participants d'oraliser les stratégies, en temps réel, lors de la navigation dans l'environnement virtuel. Le but était d'obtenir, de façon directe, des informations relatives aux stratégies utilisées. Ceci s'est avéré être un exercice difficile pour la majorité des participants âgés de 6 à 13 ans. En effet, ces participants ne pouvaient se concentrer sur l'exercice en tant que tel (reproduire son chemin) et, en même temps, verbaliser l'ensemble des éléments pris en compte (le plus souvent, les participants ne pensaient pas à oraliser les informations et il fallait à chaque fois le leur rappeler). Étant donné l'impossibilité de prendre connaissance des informations de manière directe, il a été décidé de les interroger *a posteriori* (verbalisation rétrospective). Partant de ces éléments déclarés et des connaissances existantes sur le sujet (cf. chapitre 3), des catégories de stratégies ont été définies (cf. partie « Recueil et analyse de données »).

Le bref entretien cognitif individuel mené est composé de questions semi-ouvertes et ouvertes. Les questions posées étaient les suivantes :

- « A quel point es-tu sûr d'avoir correctement réalisé le(s) parcours que tu as fait(s) ? » (le participant doit indiquer, sur une échelle de type Likert à 5 points, son degré d'assurance) ;
- « Comment t'y es-tu pris pour reproduire le parcours (en sens inverse) dans la ville sans les balises/(points) bleu(e)s ? » (si une seule stratégie est évoquée, l'expérimentateur pose la question suivante au participant : « As-tu toujours utilisé cette façon de faire là ? ») ;
- « As-tu remarqué quelque chose de particulier à propos de la ville ? » (cette dernière question a été posée lors des troisième et quatrième expérimentations uniquement).

¹ Des pré-expérimentations ont été menées sur un nombre réduit de participants (N = 30) âgés entre 6 et 35 ans afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble du matériel utilisé et de mettre au point les expérimentations.

Les entretiens réalisés permettent donc d'obtenir une vision plus précise de ce que le sujet déclare mettre en oeuvre comme stratégie(s) de navigation pour effectuer les exercices demandés. Ils permettent aussi de rendre compte d'éventuels changements de stratégies survenus au cours de l'activité. La présentation de l'analyse des données relatives aux entretiens cognitifs menés est présentée au point 3.2.

2.6 Échantillonnage

2.6.1 Critères d'inclusion

Pour les besoins des expérimentations, une série de critères d'inclusion a été retenue pour la sélection des échantillonnages. Le choix des participants a été effectué sur la base de leur appartenance à un établissement scolaire dont les caractéristiques socio-économiques sont situées dans la moyenne (classes 8 à 11 dans une distribution qui comporte 20 classes couvrant chacune 5% de l'effectif total). Les participants ont été recrutés dans des écoles d'enseignement fondamental et secondaire dans le Hainaut Occidental (Mons-Tournai). La représentativité des échantillons en termes statistiques n'a pas été recherchée.

Après une présentation et/ou une discussion avec les chefs d'établissements, les enseignants et, dans certains cas, les parents, ceux-ci ont accepté que les élèves/enfants prennent part aux expérimentations. Pour faire partie de l'échantillonnage, chacun des participants doit avoir un âge chronologique compris entre 6 ans et 15 ans. Cinq tranches d'âges ont été définies : les 6-7 ans, les 8-9 ans, les 10-11 ans, les 12-13 ans et les 14-15 ans. Sur la base des déclarations des chefs d'établissements ou des enseignants, les participants présentant des troubles connus (TDA-H, troubles d'apprentissages) ont été écartés. Les participants présentant du daltonisme, des déficits importants au niveau mémoriel et psychomoteur (latéralité) n'ont pas été retenus. Les épreuves psychométriques permettant de procéder à l'élimination de ces participants sont détaillées au point 2.6.2 Epreuves psychométriques.

Pour éviter les biais d'apprentissages et/ou de contre-apprentissages, de transferts de connaissances ou d'effets de séquence, chacune des expérimentations a été réalisée sur des populations différentes. Chaque individu ne pouvait ainsi participer qu'à une seule expérimentation.

Le nombre de participants diffère en fonction des expérimentations. Des précisions supplémentaires relatives au nombre de participants sont apportées dans les sections « Echantillon » propres aux différentes expérimentations réalisées.

2.6.2 Épreuves psychométriques

Les fonctions de base évaluées sont : la latéralité, la décentration, la reconnaissance de la position relative de trois objets placés côte à côte, la reconnaissance des couleurs (détecter le daltonisme) et la reconnaissance de l'orientation d'un objet dans l'espace.

➤ *L'épreuve Piaget-Head*

L'épreuve utilisée pour évaluer la latéralité, les capacités de décentration et la reconnaissance de la position relative (gauche-droite) est l'épreuve du Piaget-Head, étalonnée par Galifret-Granjon (Zazzo, 1958). Ce test s'adresse aux enfants à partir de 6 ans jusqu'à 14 ans. Pour des raisons de cohérence, ce même test a également été réalisé par les participants âgés de 15 ans.

Dans sa version originale, l'épreuve du Piaget-Head comporte six tests :

- la reconnaissance droite-gauche sur soi (latéralité)
- la reconnaissance droite-gauche sur autrui (décentration)
- la reconnaissance de la position relative de trois objets placés côte à côte,
- Test de Head "Main-Oeil-Oreille"
- l'exécution d'une consigne et
- l'imitation d'un dessin.

Dans le cadre de l'étude menée, il n'a pas été jugé utile de faire passer aux participants, l'entièreté de la batterie d'origine. Seuls les cinq premiers tests ont été effectués individuellement. Dans un premier temps, l'expérimentateur pose la question « Quelle est ta main droite ? » puis, la question « Quelle est ta main gauche ? » (reconnaissance gauche-droite sur soi). Un point est attribué par bonne réponse. Dans un deuxième temps, l'expérimentateur placé face au participant montre ses mains et pose ensuite les questions : « Ma main droite à moi, c'est laquelle ? » ; « Ma main gauche à moi, c'est laquelle ? » (reconnaissance gauche-droite sur autrui). Le participant désigne les mains droite et gauche de l'expérimentateur. Un point est attribué par bonne réponse. Dans un troisième temps, est testée la reconnaissance de la position relative de trois objets.

L'expérimentateur dispose trois objets sur la table (une montre sur la gauche, un crayon sur la droite et des clefs au centre, tous les objets sont espacés de 15 cm les uns des autres) et demande au participant de croiser les bras sur la table. L'expérimentateur pose les questions suivantes : « La montre est-elle à droite ou à gauche du crayon ? » (réussite = deux points), « La montre est-elle à droite ou à gauche de la clef ? » (réussite = deux points) ; « Les clefs sont-elles à droite ou à gauche de la montre ? » (réussite = trois points) ; « Les clefs sont-elles à droite ou à gauche du crayon ? » (réussite = trois points) ; « Le crayon est-il à droite ou à gauche de la montre ? » (réussite = deux points) ; « Le crayon est-il à droite ou à gauche de la clef ? » (réussite = deux points). Dans un quatrième temps, le Test de Head est effectué. Assis face au participant, l'expérimentateur place l'une de ses mains sur une partie de son visage. Le participant doit imiter la série de mouvements exécutés par l'expérimentateur (l'objectif est que le participant n'imité pas l'expérimentateur en effectuant le geste « en miroir »). Plusieurs imitations sont réalisées dont : main gauche sur œil droit, main droite sur oreille droite, main droite sur œil gauche, main gauche sur oreille gauche, main droite sur œil droit... (15 énoncés = 15 points si réussite). Enfin, le même exercice a été réalisé mais cette fois-ci, l'expérimentateur donne uniquement les consignes orales que le participant doit exécuter correctement (les mêmes gestes sont demandés : main gauche sur œil droit, main droite sur oreille droite, main droite sur œil gauche, main gauche sur oreille gauche, main droite sur œil droit...). Le codage des réponses a été effectué pour chaque test. Au total, les participants obtiennent un score de maximum 48 points, ceux n'atteignant pas la moitié des points pour chacun des tests (sauf pour le deuxième) ont été écartés.

➤ *Empan verbal (exercice de reproduction)*

Afin de mesurer la capacité de stockage en mémoire à court terme des participants, les empan de chacun des participants sont évalués (Auclair & Sieroff, 2006). La première de ces évaluations concerne l'empan verbal. Pour ce faire, l'expérimentateur utilise une séquence de chiffres et de lettres qu'il dispense oralement, à intervalle régulier, au participant. Ce dernier doit ensuite restituer cette séquence dans le même ordre à l'expérimentateur. Lorsque le participant restitue exactement la séquence, l'expérimentateur passe à la séquence suivante qui comprend un élément de plus. Si l'enfant échoue, l'expérimentateur passe à la séquence suivante, mais supprime le dernier élément (ainsi, la séquence comporte le même nombre d'éléments que dans la séquence précédente). Si l'enfant échoue à deux reprises consécutives,

l'expérimentateur met fin à l'évaluation. L'empan gardé est le chiffre ou le nombre correspondant au nombre d'unités verbales correctement restituées. Les participants ayant un empan inférieur à trois unités n'ont pas été retenus pour l'expérimentation.

➤ *Empan verbal (exercice de décentration)*

Après l'évaluation de l'empan verbal en reproduction (restitution dans le même ordre), un exercice analogue est réalisé. L'objectif est à présent, pour le participant, de restituer une séquence de chiffres et de lettres en sens inverse. Les mêmes règles que l'exercice de reproduction précédemment décrit sont appliquées. En ce qui concerne l'empan verbal de décentration, les participants ayant un empan inférieur à deux unités n'ont pas été retenus pour l'expérimentation.

➤ *Empan visuo-spatial (exercice de reproduction)*

L'évaluation portant sur l'empan visuo-spatial est réalisée à partir des blocs de Corsi (tapping blocks test) (Auclair & Sieroff, 2006). L'expérimentateur utilise une planche sur laquelle sont fixés neuf cubes. Il montre une séquence visuelle au participant en tapant, à intervalle régulier, sur une série de cubes. Le participant doit ensuite reproduire cette séquence dans le même ordre. Lorsque le participant reproduit avec exactitude la séquence, l'expérimentateur passe à la suivante qui comprend un élément de plus. Si l'enfant échoue, l'expérimentateur passe à la séquence suivante mais supprime le dernier élément (ainsi, la séquence comporte le même nombre d'éléments que dans la séquence précédente). Si l'enfant échoue à deux reprises consécutives, l'expérimentateur met fin à l'évaluation. L'empan gardé est le chiffre ou le nombre correspondant au nombre d'éléments visuels correctement restitués. Comme pour l'empan verbal (exercice de reproduction), les participants ayant un empan inférieur à trois unités n'ont pas été retenus pour l'expérimentation.

➤ *Empan visuo-spatial (exercice de décentration)*

Après l'évaluation de l'empan visuo-spatial en reproduction (dans le même ordre), un exercice analogue est réalisé. L'objectif est à présent, pour le participant, de reproduire une séquence de « tapping » en sens inverse. Les mêmes règles que l'exercice de reproduction précédemment décrit sont appliquées. Les participants ayant un empan inférieur à deux unités n'ont pas été retenus pour l'expérimentation.

➤ *Connaissance des couleurs et reproduction de l'orientation d'objet-lettre*

Afin de s'assurer que tous les participants disposent d'une vue correcte pour réaliser les exercices de navigation dans les meilleures conditions, deux exercices sont proposés. Le premier exercice consiste en la discrimination de cinq ronds de couleur : le rouge, le vert, le bleu, le jaune et le mauve (ou violet). L'enfant indique oralement de quelle couleur est le rond en question. Les couleurs de bases sont notées comme « connues » si l'enfant ne fait aucune erreur lors de l'exercice. Les enfants et adolescents atteints de daltonisme ou ne sachant pas exprimer les différences de couleurs ont été écartés des expérimentations. Le second exercice consiste en la reproduction de l'orientation d'un objet-lettre. L'expérimentateur a à sa disposition deux objets-lettres identiques. Il les montre aux participants et ce dernier en dispose d'un. L'expérimentateur oriente l'objet-lettre d'une façon particulière et demande aux participants de faire de même.

L'ensemble de ces tests a été réalisé en fin d'expérimentation (après la réalisation des exercices spatiaux et après l'entretien cognitif) afin de ne pas influencer les stratégies cognitives mises en œuvre par les participants durant les exercices de navigation.

3 Recueil & analyse de données

3.1 Les données relatives aux exercices de navigation

L'utilisation d'outils informatiques permet le recueil de données en temps réel (Klinger, 2008). Les données recueillies sont de deux types : des données d'identification et des données relatives aux performances. Les données d'identification concernent, d'une part, les informations relatives à chacun des participants (nom, âge, classe...) et, d'autre part, les caractéristiques de la ville virtuelle utilisée (pourcentage de coloration du bâti, présence ou non de bâtiments remarquables, coloration de bâti...).

Le deuxième type de données concerne les performances des participants à chacun des exercices de navigation demandés. L'indicateur utilisé pour mesurer la performance est la reproduction complètement réussie de chacun des parcours réalisés. Concernant les parcours de navigation de « reproduction », la réussite est conditionnée par le fait que le participant atteint le point d'arrivée en passant par les mêmes points de décision que lors du suivi de balises. Pour les parcours de navigation par « décentration », la réussite est conditionnée par le fait que le participant rejoint le point de départ en effectuant le

même chemin en sens inverse. Un code binaire permettant de différencier les réussites des échecs a été utilisé.

Dans les sections « Résultats » des expérimentations menées, deux types de données, basés sur l'indicateur précité, sont utilisées. Il s'agit :

- d'une part, de considérer la proportion de parcours réussis par élève (scores moyens (SM) en %). Concrètement, le participant qui réussit un parcours obtient un score. Au terme de l'ensemble des parcours réalisés, un score moyen est attribué à chacun des participants. Les SM utilisés portent soit sur l'ensemble des participants (pourcentages de réussite pour tous les participants, toutes tranches d'âges confondues) ou sont calculés en différenciant les participants en fonction de leurs âges (pourcentages de réussite pour un groupe de participants d'un âge donné). Les scores moyens sont utilisés dans les analyses de variances.
- d'autre part, de considérer la réussite ou l'échec pour chacun des parcours afin de travailler à partir de pourcentages de réussite (%). Concrètement, le participant réussit (noté « 1 ») ou échoue (noté « 0 ») le parcours. Dans ce cas, un pourcentage de réussite (%) pour chacun des parcours réalisés peut être calculé pour l'ensemble des participants. Le pourcentage de réussite est le pourcentage de participants réussissant un parcours donné. Dans les sections portant sur l'influence du nombre de points de décision et du nombre de points d'inflexion, les parcours ayant les mêmes caractéristiques sont regroupés. Des pourcentages de réussite portant sur ces regroupements de parcours (par exemple les parcours comprenant 9 points de décision) sont alors calculés. Les pourcentages de réussite sont utilisés dans les calculs de χ^2 .

En fin d'expérimentation, un fichier .xls reprenant ces différentes informations peut être généré.

D'un point de vue technique, les données recueillies ont été traitées à l'aide de la version française du logiciel IBM SPSS Statistics 21.0. Les tests statistiques employés pour effectuer les analyses sont les suivants : l'analyse de variance (Anova) à un facteur ; le Post hoc de Games-Howell ; le Chi-carré (χ^2) et, au besoin, le test de Fisher (2x2 ; 2x3 ; 2x4 ; 2x5) ; la Régression linéaire simple et le coefficient de détermination (R^2) ; le Mann-Whitney (M.-W.) et l'Alpha de Cronbach (α).

Le seuil de significativité retenu est de .05. Les différents tableaux et graphiques présentés dans les sections « résultats » proviennent du logiciel statistique SPSS et du

tableur Excel dans sa version 2013. Pour effectuer certaines procédures statistiques, la transformation des fichiers de données originaux a été nécessaire. Le logiciel de gestion de base de données SQL Access 2013 a donc été utilisé.

3.2 Les données issues des entretiens cognitifs

À la fin des deux premières expérimentations ou, pour les troisième et quatrième expérimentations, après chacun des parcours réalisés, un bref entretien cognitif a été mené avec chacun des participants. Pour rappel, le but principal des entretiens cognitifs était de rendre compte des stratégies de navigation déclarées être utilisées lors d'exercices de navigation. L'ensemble des entretiens cognitifs a été retranscrit directement ou enregistré. Le codage a été effectué sur la base de la définition de onze stratégies. Certaines d'entre elles ont été définies *a priori*, eu égard à la littérature existante sur le sujet (cf. chapitre 3), d'autres ont été définies après la passation de pré-expérimentations.

Le Tableau 7.2 reprend les stratégies qui ont été définies *a priori*, en se basant sur des théories en lien avec les stratégies de navigation mises en évidence dans des articles scientifiques (notamment Tolman, 1948 ; Overman, Pate, Moore, Peuster, 1996 ; Leplow *et al.*, 2003 ; Lafon, Vidal & Berthoz, 2009 ; Bohbot *et al.*, 2012 ; Gardner *et al.*, 2013 ; Labate, Pazzaglia & Hegarty, 2013 ; De Condappa, Wiener, 2014).

Tableau 7.2 - Stratégies de navigation définies, a priori, sur la base de la revue de la littérature

Nom de la stratégie	Description de la stratégie
Stratégie de « réponse »	Cette stratégie nécessite une mise à jour constante de la relation entre le corps qui est en mouvement (mise à jour égocentrée), les indices de l'environnement et le but à atteindre. Reposant sur des associations « stimulus-réponse » acquises entre un élément environnemental (un repère) et un mouvement du corps réel ou, dans l'environnement virtuel, un mouvement du corps simulé, cette stratégie est de type « tourner à droite après le bâtiment bleu, tourner à gauche après le bâtiment rouge... ».
Stratégie de « comptage »	Cette stratégie est basée sur l'enregistrement, le codage et la restitution d'une série d'informations (nombre de pas effectué ou nombre de bâtiments dépassés et direction prise) nécessitant une forme plus ou moins élaborée de comptage. Cette stratégie est de type « 1x tout droit, 1x tout droit, 1x tout droit, gauche, 1x tout droit, 1x tout droit, droite », « 3x tout droit, gauche, 2x tout droit puis droite » ou, dans sa forme la plus élaborée, « 3e, gauche, 2e, droite.../3G2D ». Elle consiste en une connaissance déclarative et non en une connaissance procédurale.
Stratégie « Elaboration de cartes cognitives » (stratégie de « lieu » ou de « place »)	Cette stratégie est basée sur un modèle d'aménagement décrivant les relations spatiales métriques entre différents emplacements situés dans l'environnement (O'Keefe & Nadel, 1978). Elle repose donc sur la représentation qu'un individu se fait d'un environnement (mémorisation des relations existantes entre les repères) et qu'il utilise pour s'y déplacer.
Stratégie kinesthésique	Cette stratégie est basée sur l'utilisation d'informations proprioceptives et kinesthésiques (Lafon, Vidal & Berthoz, 2009). Les indices kinesthésiques pouvant être utilisés par le participant sont de deux types : le mouvement effectué par le poignet (par le biais de l'interface uni-manuelle) et les éventuels mouvements réalisés par le participant face à l'écran.

Les pré-expérimentations (sur un nombre réduit de participants, âgés entre 6 et 35 ans) menées ont, quant à elles, permis de mettre en évidence, l'existence de stratégies « combinées ». Celles-ci sont reprises dans le Tableau 7.3.

Tableau 7.3 - Stratégies de navigation « combinées » définies suite à la réalisation des pré-expérimentations

Nom de la stratégie	Description de la stratégie
Stratégie mixte	Stratégie combinée alliant la stratégie de réponse à la stratégie de comptage
Stratégie de réponse*stratégie d'élaboration de cartes cognitives	Stratégie combinée alliant la stratégie d'élaboration de cartes cognitives à la stratégie de réponse
Stratégie de comptage*stratégie d'élaboration de cartes cognitives	Stratégie combinée alliant la stratégie d'élaboration de cartes cognitives à la stratégie de comptage
Stratégie de réponse*stratégie kinesthésique	Stratégie combinée alliant la stratégie de réponse à la stratégie kinesthésique
Stratégie de comptage*stratégie kinesthésique	Stratégie combinée alliant la stratégie de comptage à la stratégie kinesthésique
Stratégie de réponse*stratégie de comptage*stratégie d'élaboration de cartes cognitives*stratégie kinesthésique	Toutes stratégies combinées
Stratégie supplémentaire	Catégorie créée afin de recueillir d'autres stratégies que celles mises en évidence.

Au total, onze stratégies ont été identifiées. Le codage des propos recueillis auprès de chacun des participants a été effectué sur la base de la définition des onze stratégies susmentionnées. Dans le but d'illustrer la manière dont les propos des participants ont été codés comme stratégies, des exemples de codage sont proposés dans les tableaux ci-dessous. Pour des raisons de facilité et de clarté, la présentation des stratégies s'effectue dans trois tableaux différents. Il est à noter qu'à certains âges, il n'existe pas d'exemple de codage puisque les participants n'ont pas eu recours à ces stratégies. Aussi, certaines stratégies décrites dans les tableaux précédents n'ont jamais été utilisées par les participants au cours des expérimentations réalisées.

Le Tableau 7.4 regroupe des exemples de stratégies de réponse, de comptage et mixtes (utilisation de la stratégie de réponse et de la stratégie de comptage).

Tableau 7.4 - Exemples de codage de stratégies de repérage, de comptage et mixte

	Exemples de stratégies de réponse	Exemple de stratégies de comptage	Exemple de stratégies mixtes (utilisation de la stratégie de réponse et de la stratégie de comptage)
6 ans-7 ans	« Il y avait des maisons rouges et bleues et ça m'a aidé mais je me suis quand même perdu [...] »	« Jean a avancé une fois puis encore une fois [...] il a tourné vers par-là (il me montre vers la droite) puis il a encore été en avant, en avant et encore en avant [...] et il est arrivé ! »	« Je dois aller tout droit puis tout droit puis encore tout droit puis tourner quand il y a la maison bleue puis aller tout droit puis je ne sais plus [...] »
8 ans-9 ans	« J'ai bien observé [...] les couleurs des maisons pour refaire le chemin »	« [...] J'ai compté le nombre de points bleus qu'il y avait »	« J'ai compté mes pas et j'ai regardé autour de moi [...] quand il y avait des bâtiments avec de la couleur »
10 ans-11 ans	« J'ai regardé la couleur des bâtiments pour me souvenir au maximum des parcours » ; « J'ai remarqué qu'il y avait des maisons [...] bleues, rouges et vertes [...] et c'est ça qui m'a aidé à retrouver le bon chemin »	« J'ai mémorisé combien il y avait de points bleus sur la même rue » ; « Je devais me concentrer pour retenir [...] le nombre de points bleus et tous les tournants qu'il fallait prendre »	« J'ai regardé la couleur des maisons et j'ai mémorisé le chemin en comptant le nombre de points bleus dans les rues »
12 ans-13 ans	« Les couleurs des maisons m'ont beaucoup aidé »	« J'ai parfois réussi à retrouver mon chemin parce que j'ai compté les points bleus »	« Il fallait bien regarder autour de nous les maisons et les couleurs et aussi compter le nombre de pas que l'on faisait pour avancer »
14 ans-15 ans	« J'ai observé la couleur des immeubles, c'est tout »	« J'ai compté le nombre de fois que j'ai été en avant » ; « Je me suis répété plein de fois toutes les informations importantes... comme 2 en avant, gauche, 3 en avant, droite... au plus j'avançais dans le chemin, au plus il y avait d'informations à retenir et, en plus, je me trompais parce que je ne me souvenais plus de tout »	« J'ai compté le nombre de rues et j'ai fait attention aux couleurs des bâtiments [...] »

Dans le Tableau 7.5, sont présentées des stratégies relatives à l'élaboration de cartes cognitives ainsi que les stratégies combinées « stratégie de réponse*élaboration de cartes cognitives » et « stratégie de comptage*élaboration de cartes cognitives ».

Tableau 7.5 - Exemple de stratégies relatives à l'élaboration de cartes cognitives et de stratégies combinées

	Exemples de stratégies d'élaboration de cartes cognitives	Exemples de stratégies alliant l'utilisation de la stratégie de réponse et l'élaboration de cartes cognitives	Exemples de stratégies alliant l'utilisation de la stratégie de comptage et l'élaboration de cartes cognitives
6 ans-7 ans	Pas d'exemple	Pas d'exemple	Pas d'exemple
8 ans-9 ans	Pas d'exemple	« J'ai essayé de dessiner le chemin dans ma tête et j'ai aussi fait attention aux bâtiments bleus et verts fluos »	« J'ai dessiné sur la table avec mon doigt le chemin (il me montre comment il a procédé) (...) par exemple, pour aller une fois tout droit puis encore une fois tout droit, j'ai dessiné une barre puis encore une barre... quand je devais tourner, j'ai dessiné un angle, puis une barre et puis un angle... toujours comme ça »
10 ans-11 ans	Pas d'exemple	« [...] j'ai fait deux choses... J'ai bien regardé les façades des maisons et, j'ai représenté les plans de rues » Où as-tu représenté ces plans de rues ?, demande l'expérimentateur « dans mon imagination »	« Je devais compter le nombre de pas et de tournants... sans me tromper... pour représenter le chemin dans ma tête »
12 ans-13 ans	Pas d'exemple	« [...] j'ai observé les couleurs des bâtiments (...) et je me suis imaginé le trajet que j'ai fait en traçant des lignes et des angles »	« Dès que j'avais mémorisé le nombre de points bleus le long d'une même rue, je me représentais l'allure du parcours dans ma tête »
14 ans-15 ans	« J'ai imaginé la forme des chemins que j'ai suivis quand je me promenais dans le jeu [...] ce n'était pas facile mais ça m'a aidé »	« J'ai dessiné dans ma tête une carte des chemins que j'ai réalisés en essayant de replacer aux bons endroits les maisons de couleurs que j'ai vues »	« Je comptais le nombre de fois que j'allais tout droit et le nombre de tournants et m'imaginai le chemin que je suivais »

Enfin, le Tableau 7.6 reprend des exemples de codage de stratégies kinesthésiques et des stratégies combinées « stratégie de réponse*stratégie kinesthésique » et « stratégie de comptage*stratégie kinesthésique ».

Tableau 7.6 - Exemples de codage de stratégies kinesthésiques et de stratégies combinées

	Exemples de stratégies kinesthésiques	Exemple de stratégies alliant la stratégie de réponse et la stratégie kinesthésique	Exemple de stratégies alliant la stratégie de comptage et la stratégie kinesthésique
6 ans-7 ans	« Je me souviens avoir été par-là (il me montre le mouvement qu'il a fait avec son poignet) puis d'avoir continué tout droit puis d'avoir été par-là (il me montre un autre mouvement) »	« [...] je sais que je dois tourner juste avant le bâtiment rouge... [...] je savais par où je devais tourner parce que je me rappelle du geste que j'ai fait avec ça (il me montre le joystick) » ;	Pas d'exemple
8 ans-9 ans	« Quand j'étais dans le jeu, je me rappelais si j'allais tout droit ou si je tournais vers la droite, ou vers la gauche parce que je faisais le geste et que je tournais sur ma chaise »	« pour se retrouver dans la ville, il fallait regarder les couleurs et se rappeler des tournants. Alors, pour m'aider, je retenais les gestes de mon poignet »	Pas d'exemple
10 ans-11 ans	Pas d'exemple	« J'ai retenu les couleurs des maisons et les mouvements avec le joystick »	« J'ai compté les pas que j'ai fait et à chaque fois que je tournais je me tournais moi-même en me disant que c'est par là qu'il faudra aller »
12 ans-13 ans	Pas d'exemple	Pas d'exemple	« [...] j'ai toujours mémorisé le nombre de points bleus en ligne droite... puis pour les tournants je bougeais mon poignet dans la direction en le regardant [...] il fallait que je me rappelle le mouvement de mon poignet »
14 ans-15 ans	Pas d'exemple	Pas d'exemple	Pas d'exemple

L'ensemble de ces stratégies a, sur cette base, été codé dans un logiciel tableur. Ces données sont principalement utilisées pour répondre aux questions relatives à l'utilisation de stratégies (Chapitre 9).

4. Brève description des quatre expérimentations réalisées

Les chapitres 8 et 9 portent sur la réalisation de quatre expérimentations menées. Ces expérimentations sont reprises dans le Tableau 7.7. Lors de la première expérimentation, les participants effectuent des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity. Un entretien cognitif rétrospectif est alors mené après la réalisation des treize parcours de reproduction. La deuxième expérimentation est également réalisée dans V-Squarecity. Les participants effectuent ici des exercices de navigation par « décentration » , en sens inverse. Comme lors de la première expérimentation, un entretien cognitif rétrospectif est conduit avec les participants à la suite des treize parcours réalisés. La troisième expérimentation, réalisée dans V-Squarecity, porte sur la réalisation d'exercices de navigation par « reproduction ». Contrairement aux expérimentations précédentes où la coloration du bâti était fixée à 25% pour l'ensemble des parcours réalisés, la coloration du bâti (considérée comme un des paramètres influençant la complexité des exercices de navigation proposés) varie ici d'une série d'exercices à une autre (25%-40%-90% de coloration). Les entretiens cognitifs sont, pour cette expérimentation, menés après chacune des deux séries d'exercices proposées. La quatrième expérimentation porte, quant à elle, sur la « reproduction » de parcours dans deux villes définies selon un plan différent (V-Squarecity et V-Sinuosity). La structuration de la ville est ici considérée comme un des paramètres pouvant influencer la complexité des exercices de navigation proposés). Après chaque parcours, les participants sont invités à expliquer la/les stratégie(s) de navigation qu'ils ont utilisé(e)s

Tableau 7.7 – Description des expérimentations permettant de répondre à la première question principale

Expérimentations	Ville(s) utilisée(s)	Coloration du bâti	Exercices de navigation	Entretiens cognitifs rétrospectifs
Expérimentation 1 (point 1.)	V-Squarecity	25%	Exercices de navigation par « reproduction »	Réalisé après la réalisation de l'ensemble des parcours
Expérimentation 2 (point 2.)	V-Squarecity	25%	Exercices de navigation par « décentration »	Réalisé après la réalisation de l'ensemble des parcours
Expérimentation 3 (point 4.)	V-Squarecity	25% - 40% - 90%	Exercices de navigation par « reproduction »	Réalisé après chacune des deux séries de parcours
Expérimentation 4 (point 5.)	V-Squarecity/ V-Sinuosity	25%	Exercices de navigation par « reproduction »	Réalisé après chacun des parcours

CHAPITRE 8 ESTIMATION DE LA COMPLEXITÉ DES TÂCHES DE NAVIGATION

Chapitre 8 **Estimation de la complexité des tâches de navigation**

Dans les recherches menées en cognition spatiale, peu d'informations sont fournies quant à la complexité des parcours de navigation proposés. Les recherches qui portent sur la reproduction d'itinéraires font peu état des caractéristiques des parcours demandés (en termes de nombre de points de décision et de nombre de points d'inflexion, par exemples) et, quand elles le font, peu d'arguments sont donnés pour expliquer la raison des choix posés. Ainsi, certains auteurs (Wallet *et al.*, 2011) définissent comme parcours simples des trajets comportant 12 points de décision et 10 points d'inflexion. Dans une autre étude, Boumenir *et al.* (2010) considèrent comme simples les trajets comprenant 1 point d'inflexion. Face à cette variété de considérations, il semble important de mener une réflexion sur ce qu'il faut considérer comme parcours simples ou difficiles. Dans le même ordre d'idées, il paraît également important de déterminer le pourcentage de repères qui influence le plus la complexité des tâches de navigation chez les enfants et les adolescents. Si bon nombre d'auteurs met l'accent sur l'importance des repères dans les tâches de navigation (Appleyard, 1969 ; Golledge, 1999 ; Steck & Mallot, 2000 ; Farran *et al.*, 2012), on sait encore peu de choses concernant la quantité de points de repères utilisée par les enfants quand ceux-ci reproduisent des itinéraires dans des environnements différents. En outre, seules quelques études (Herman *et al.*, 1987 ; Jansen-Osmann, Schmid & Heil, 2007, Jansen-Osmann & Heil 2007) ont porté sur l'influence de la structuration de l'espace sur les performances de pointage et d'estimation de distances chez les enfants. Ces dernières n'ont pas pu fournir de réponses claires et univoques concernant l'effet de la structuration de villes sur les performances en raison de la ressemblance des villes dans lesquelles ont été réalisées les expérimentations. En effet, les auteurs ont reconnu, qu'en fin de compte, les environnements utilisés ne différaient pas véritablement les uns des autres.

Afin d'apporter des éléments de réponse à la première question principale « Quels sont les paramètres qui influencent la complexité intrinsèque des exercices de navigation ? », un intérêt spécifique est d'abord porté à chacun des exercices de navigation proposés (exercices de navigation par « reproduction » ; exercices de navigation par « décentration ») ; s'en suit la comparaison de ces deux exercices.

Les deux premières expérimentations menées permettent donc de répondre aux questions (Q.) suivantes :

- Q.1. Quels sont les paramètres qui augmentent la complexité intrinsèque des exercices de navigation par «reproduction» dans V-Squarecity ? (Expérimentation 1)
- Q.2. Quels sont les paramètres qui augmentent la complexité intrinsèque des exercices de navigation par « décentration » ? (Expérimentation 2)

Après avoir analysé les paramètres de complexité des exercices de navigation par « reproduction » d'une part, et les exercices de navigation par « décentration » d'autre part, on s'interroge sur les différences de performances, en termes de pourcentages de réussite, qui existent entre ces deux exercices de navigation. La question que l'on se pose est la suivante :

- Q.3. Dans V-Squarecity, les exercices de navigation par « reproduction » sont-ils davantage réussis que les exercices de navigation par « décentration » ?

Une attention particulière est ensuite portée, par le biais de la troisième expérimentation décrite, au changement de pourcentage de coloration du bâti dans V-Squarecity.

- Q.4. Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity ? (Expérimentation 3)

Enfin, la quatrième expérimentation porte sur l'utilisation combinée des deux villes virtuelles créées. On s'interroge sur l'influence de la structuration de l'environnement sur les pourcentages de réussite des parcours.

- Q.5. Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent-ils de la structuration de l'environnement utilisé ? (Expérimentation 4)

Le tableau 8.1 reprend la description des expérimentations menées et présente pour chacune d'entre elles les différents paramètres de complexité considérés ainsi que les questions auxquelles chacune des expérimentations se rapporte.

Tableau 8.1 – Description des expérimentations permettant de répondre à la première question principale

Expérimentations	Ville(s) utilisée(s)	Coloration du bâti	Exercices de navigation	Questions
Expérimentation 1 (point 1.)	V-Squarecity	25%	Exercices de navigation par « reproduction »	Q.1. Quels sont les paramètres qui augmentent la complexité intrinsèque des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity ?
Expérimentation 2 (point 2.)	V-Squarecity	25%	Exercices de navigation par « décentration »	Q.2. Quels sont les paramètres qui augmentent la complexité intrinsèque des exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity ?
Expérimentation 3 (point 4.)	V-Squarecity	25% - 40% - 90%	Exercices de navigation par « reproduction »	Q.4. Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity ?
Expérimentation 4 (point 5.)	V-Squarecity/ V-Sinuosity	25%	Exercices de navigation par « reproduction »	Q.5. Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent-ils de la structuration de l'environnement utilisé ?



En vue d'apporter des éléments de réponse à la première question principale :
« Quels sont les paramètres qui influencent la complexité intrinsèque des exercices de navigation proposés ? »

1. Expérimentation 1 : Exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity

1.1 Questions & Hypothèses

La première question qui est traitée dans le cadre de cette expérimentation est : « Quels sont les paramètres qui augmentent la complexité intrinsèque des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity ? » (Q.1.).

Pour y répondre, plusieurs sous-questions sont formulées et un intérêt est d'abord porté aux différences de performances en fonction de l'âge des participants. Il est ainsi question de savoir si, dans un environnement régulier, les pourcentages de réussite aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent de l'âge des participants. La première sous-question posée est donc :

- S-Q. 1.1. Les performances des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity, en termes de scores moyens, s'améliorent-elles en fonction de leur âge ?

Après s'être interrogé sur les différences de performances entre les âges des participants, un intérêt spécifique est porté, par le biais des pourcentages de réussite, aux parcours réalisés. La deuxième sous-question posée est :

- S-Q.1.2. Les pourcentages de réussite des participants, répartis par tranches d'âges, aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent-ils des parcours proposés lors de l'expérimentation ?

Étant donné le nombre de parcours à réaliser lors de l'expérimentation, on s'interroge également sur le degré d'influence de la variable « ordre » sur la variable dépendante. La troisième sous-question posée est :

- S-Q.1.3. Les pourcentages de réussite varient-ils en fonction de l'ordre de passage des parcours ?

Les réponses, fournies aux sous-questions précédentes, conduisent ensuite à s'interroger sur la complexité intrinsèque des parcours réalisés. Définis selon deux caractéristiques distinctes (nPD et nPI), on postule que les caractéristiques des parcours de navigation influencent les pourcentages de réussite. Deux hypothèses sont alors posées :

- H.1.1. La première hypothèse, relative à la complexité des exercices de navigation par « reproduction » sur les performances des participants, en termes de pourcentages de réussite, concerne la longueur des parcours réalisés. Celle-ci dépend du nombre de points de décision (nPD) et peut être étudiée alors que le nombre de points d'inflexion (nPI ; en d'autres termes, le nombre de changement de direction) reste constant. Selon cette première hypothèse, la longueur croissante des parcours constitue un des paramètres qui augmente la complexité des exercices de navigation par « reproduction ». Ainsi, un parcours de « reproduction » comportant moins de points de décision serait mieux réussi qu'un parcours de « reproduction » avec un nombre de points de décision plus important.
- H.1.2. La deuxième hypothèse, relative à la complexité des exercices de navigation par « reproduction » sur les performances des participants, en termes de pourcentages de réussite, concerne le nombre de point d'inflexion (changements de direction) que comportent les parcours réalisés. Le nombre de points d'inflexion (nPI) peut lui aussi varier, tout en maintenant constant le nombre de points de décision (nPD). La deuxième hypothèse est formulée de la manière suivante : l'accroissement du nombre de points d'inflexion altère la performance des participants en termes de pourcentages de réussite et constitue, de fait, un des paramètres qui augmente la complexité des exercices de navigation par « reproduction ». Suivant ce raisonnement, un parcours de « reproduction » comportant moins de points d'inflexion serait mieux réussi qu'un parcours de « reproduction » comportant un nombre de points d'inflexion plus important.

Enfin, on se demande quel paramètre (nPD ou nPI) influence le plus le pourcentage de réussite des exercices de navigation par « reproduction », en se posant la sous-question suivante :

- S.Q.1.4. Les pourcentages de réussite varient-ils davantage en fonction du nombre de points de décision ou du nombre de points d'inflexion, présents dans les parcours de « reproduction » ?

1.2 Rappel de l'exercice de navigation par « reproduction » (parcours de reproduction)

Cette expérimentation porte sur la réalisation d'exercices spatiaux de navigation par « reproduction ». Pour rappel, le participant devait parcourir un itinéraire dans

l'environnement virtuel en suivant les balises (points bleus indiquant le chemin à suivre). Dès qu'il arrivait à la fin du parcours, il était replacé au point de départ et devait reproduire le même chemin sans la présence des balises.

Les exercices de navigation spatiale par « reproduction » sont réalisés dans l'environnement V-Squarecity.

Treize parcours de reproduction sont définis (Tableau 8.2). Ils sont caractérisés par un nombre de points de décision (nPD) (carrefour où le sujet est amené à faire un choix quant à la direction qu'il veut prendre) et par un nombre de points d'inflexion (nPI) (carrefour où le sujet doit effectivement changer de direction). Ainsi, des parcours de longueurs variables (entre 5 et 13 points de décision) avec plus ou moins de changement de direction (entre 1 et 5 point(s) d'inflexion) ont été proposés aux participants. Il a été choisi de ne pas proposer des parcours avec trois points d'inflexion afin de limiter le nombre d'exercices proposés aux participants. L'ordre de passage des parcours a été déterminé de façon aléatoire et tous les participants ont effectué les treize parcours dans le même ordre (de 1 à 13).

La ville virtuelle comporte 25% de points de repères potentiels (c'est-à-dire que sur un total de 100% de bâtiments gris, 25% du bâti est coloré en bleu, rouge ou vert) et la localisation de ces points de repères potentiels a été effectuée de manière aléatoire.

Tableau 8.2 – Parcours de « reproduction », réalisés dans V-Squarecity, lors de l'expérimentation 1

Parcours de reproduction (par ordre de passage)	nPD	nPI
Parcours 1	7	1
Parcours 2	5	2
Parcours 3	9	2
Parcours 4	9	5
Parcours 5	5	1
Parcours 6	13	5
Parcours 7	9	1
Parcours 8	13	2
Parcours 9	7	4
Parcours 10	13	1
Parcours 11	9	4
Parcours 12	13	4
Parcours 13	7	2

1.3 Echantillon

Concernant l'échantillon, cette expérimentation a été réalisée par 113 enfants âgés de 6 à 15 ans (Tableau 8.3).

Des groupes de 23 enfants ont été constitués sur la base des tranches d'âges (6-7 ans ; 8-9 ans ; 10-11 ans ; 12-13 ans ; 14-15 ans). Etant donné l'application des critères d'inclusion (présentés dans la partie « Echantillonnage »), certains groupes comprennent 22 enfants ou adolescents. Les participants ne comprenant pas les consignes ont été écartés. Les participants ont été recrutés dans des écoles d'enseignement fondamental et secondaire de la ville de Mons en Belgique (classe d'indices socio-économiques semblables des élèves de l'école, compris entre 8 et 11).

Tableau 8.3 – Echantillon d'élèves pour les exercices de navigation par « reproduction »

Tranches d'âges	Effectifs	Pourcentages
6-7 ans	22	19,5
8-9 ans	23	20,4
10-11 ans	23	20,4
12-13 ans	22	19,5
14-15 ans	23	20,4
Total	113	100,0

Pour les deux premières expérimentations, les participants proviennent d'une même population scolaire. Un nombre a été attribué à chaque élève. Les élèves ayant un nombre pair, étaient conviés à réaliser les exercices de navigation par « reproduction » ; les autres élèves étaient invités à réaliser les exercices de navigation par « décentration » (point 2.). Les deux groupes formés (groupe « reproduction » et « groupe décentration ») proviennent donc d'un seul et unique groupe.

1.4 Présentation des données utilisées

L'indicateur utilisé, pour mesurer les performances des participants, est la reproduction réussie des parcours. Cette réussite est conditionnée par le fait que le participant atteint le point d'arrivée, en passant par les mêmes points de décision, que lors du suivi de balises.

La section « Résultats », qui suit, porte sur deux types de données basés sur l'indicateur précité. Il s'agit :

- d'une part, de considérer la proportion de parcours réussis (scores moyens (SM) en %). Concrètement, le participant qui réussit un parcours, obtient un score. Au terme des treize parcours, un score moyen est attribué à chacun des participants. Les scores moyens utilisés peuvent porter sur l'ensemble des participants (toutes tranches d'âges confondues) ou peuvent être calculés, en différenciant les participants, en fonction de leur âge (tranches d'âges). Ces deux scores moyens sont utilisés dans les analyses de variances.
- d'autre part, de considérer la réussite ou l'échec pour chacun des parcours afin de travailler à partir de pourcentages de réussite (%). Concrètement, le participant réussit (noté « 1 ») ou échoue (noté « 0 ») le parcours. Dans ce cas, un pourcentage de réussite (%) pour chacun des parcours réalisés peut être calculé pour l'ensemble des participants. Dans les sections portant sur l'influence du nombre de points de décision et du nombre de points d'inflexion, les parcours ayant les mêmes caractéristiques sont regroupés. Des pourcentages de réussite portant sur ces regroupements de parcours (par exemple les parcours comprenant 9 points de décision) sont, alors, calculés. Les pourcentages de réussite sont utilisés dans les calculs de χ^2 .

Pour la statistique du χ^2 , il est à noter que lorsque les cellules ont des effectifs théoriques inférieurs à 5, des tests de fisher (2x2, 4x2, 5x2) ont été appliqués. Concernant la normalité des données, celle-ci a systématiquement été testée (Kolmogorov-Smirnov). Le postulat d'homoscédasticité a été vérifié au moyen des tests de Skewness et de Kurtosis (valeur normale si comprise entre -1 et 1).

1.5 Résultats

1.5.1 S-Q.1.1. Les performances des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity, en termes de scores moyens, s'améliorent-elles en fonction de leur âge ?

Dans cette section, on s'interroge sur l'existence de différences de scores moyens en fonction de l'âge des participants. Les scores moyens présentés portent ici sur tous les parcours de navigation par « reproduction » réalisés. Un seul score moyen (en %) est attribué à chacun des participants.

➤ *Analyses descriptives*

Le graphique présenté ci-dessous (Figure 8.1) reprend les scores moyens calculés pour chaque âge. La lecture du graphique permet de rendre compte d'une amélioration globale des scores moyens en fonction de l'âge des participants. Le score moyen à l'âge de 6-7 ans est de 3,85%. Il augmente pour atteindre les 22,1% à l'âge de 8-9 ans et est de 27,8% à l'âge de 10-11 ans. À l'âge de 12-13 ans, ce score moyen augmente encore puisqu'il s'élève à 32,5%. Il atteint 46,1% à l'âge de 14-15 ans.

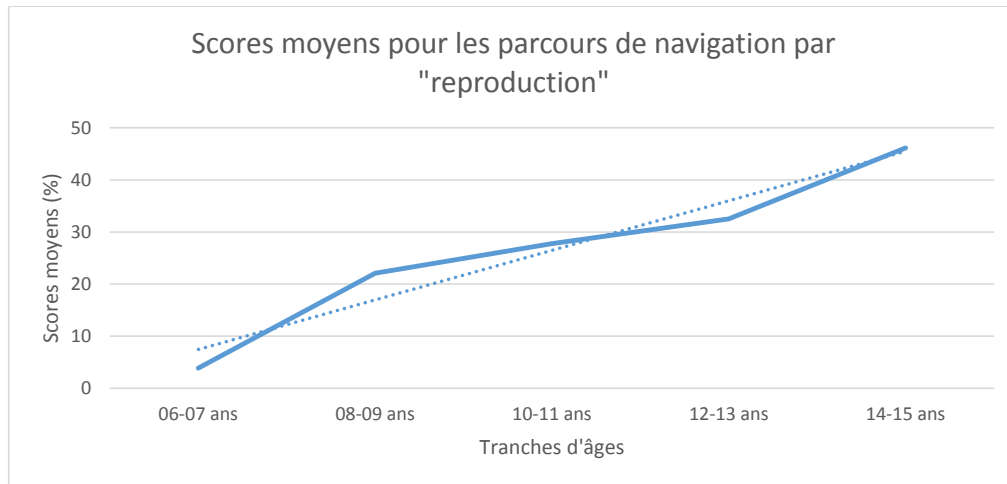


Figure 8.1 – Analyse descriptive : Performances en termes de scores moyens (%) en fonction des âges des participants

➤ *Analyses inférentielles*

L'amélioration globale des scores moyens en fonction de l'âge des participants est confirmée par la valeur élevée du coefficient de détermination calculé ($R^2 = 0,944$). En d'autres termes, cela signifie que les tranches d'âges peuvent prédire plus de 94% de la variation des scores moyens.

Après avoir montré des différences de scores moyens en fonction de l'âge des participants et l'influence de l'âge pour la résolution des exercices demandés, on cherche à présent à savoir si les différences de SM remarquées entre les tranches d'âges sont ou non significatives. Pour ce faire, une ANOVA à un facteur est réalisée (Tableau 8.4).

Tableau 8.4 - Analyse inférentielle : ANOVA à un facteur, réalisée à partir des scores moyens pour les parcours de navigation par « reproduction »

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	21442,087	4	5360,522	18,293	,000
Intra-groupes	31648,533	108	293,042		
Total	53090,620	112			

L'ANOVA à un facteur permet d'affirmer qu'il existe une différence significative de performances entre les tranches d'âges considérées ($F(4,108) = 18.29$, $p = .000$). Le calcul de la taille de l'effet, suivant la formule $\omega^2 = SS_M - (df_M)MS_R / SS_T + MS_R$, permet de confirmer l'importance de l'effet de la variable indépendante (âge) sur la variable dépendante ($\omega^2 = .380$) (Cohen, 1988).

Alors que l'analyse de variance effectuée montre qu'il existe des différences entre les groupes d'âges, celle-ci ne précise pas où se trouvent ces différences. Afin de situer ces différences, un test post hoc est réalisé. Etant donné l'inégalité de variances et l'inégalité de nos groupes de participants, le post hoc test de Games-Howell est appliqué (Tableau 8.5).

Tableau 8.5 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « reproduction »

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	Signification
Scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « reproduction »	6-7 ans	8-9 ans	,000
		10-11 ans	,000
		12-13 ans	,000
		14-15 ans	,000
	8-9 ans	10-11 ans	,800
		12-13 ans	,269
		14-15 ans	,001
	10-11 ans	12-13 ans	,923
		14-15 ans	,030
	12-13 ans	14-15 ans	,177

La lecture de ce test post hoc montre que toutes les différences de performances entre les participants âgés de 6-7 ans et les participants plus âgés sont significatives ($p = .000$). Concernant les participants âgés de 8-9 ans, il n'existe aucune différence significative de performances avec les participants âgés de 10-11 ans et 12-13 ans ($p > .05$). Cependant, il apparaît que les performances des participants de 8-9 ans sont

significativement plus faibles que les performances des participants issus de la tranche d'âge 14-15 ans ($p = .001$). Pour ce qui est du groupe de participants âgés de 10-11 ans, le post hoc test de Games-Howell montre qu'il n'existe aucune différence significative de performances avec les participants âgés de 12-13 ans ($p > .05$). Il révèle par contre des différences significatives entre les participants âgés de 10-11 ans et ceux âgés de 14-15 ans ($p = .030$). En ce qui concerne le groupe de participants âgés de 12-13 ans, il n'existe aucune différence significative de performances avec le groupe de participants de la dernière tranche d'âge ($p > .05$).

1.5.2 S-Q.1.2. Les pourcentages de réussite des participants, répartis par tranches d'âges, aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent-ils des parcours proposés lors de l'expérimentation ?

➤ Analyses descriptives

Après s'être intéressé aux performances des participants en termes de scores moyens en fonction de leur âge, un intérêt spécifique est ici porté aux différents parcours réalisés. Pour rappel, au total, les exercices de navigation par « reproduction » comportent treize parcours différents. Dans le tableau ci-dessous (Tableau 8.6) sont présentés les parcours réalisés (par ordre d'apparition dans la série d'exercices proposée lors de l'expérimentation) ainsi que les performances de tous les participants (toutes tranches d'âges confondues) en termes de pourcentages de réussite (%).

Tableau 8.6 - Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « reproduction »

Parcours réalisés (par ordre d'apparition dans la série d'exercices)	Caractéristiques du parcours (nPD_nPI)	Pourcentages de réussite (%)
Parcours 1	7_1	47,5
Parcours 2	5_2	42,2
Parcours 3	9_2	43,9
Parcours 4	9_5	1,7
Parcours 5	5_1	60,0
Parcours 6	13_5	0,0
Parcours 7	9_1	47,5
Parcours 8	13_2	21,1
Parcours 9	7_4	7,0
Parcours 10	13_1	36,1
Parcours 11	9_4	3,5
Parcours 12	13_4	3,5
Parcours 13	7_2	31,7

La lecture de ce tableau permet de remarquer que les pourcentages de réussite pour tous les parcours ne sont pas équivalents. En effet, les parcours 5, 1, 7, 3, 2, 10 et 13 sont globalement mieux réussis que les parcours 8, 9, 12, 11 et 4. On remarque également que l'activité de reproduction, pour le parcours 6, n'a été réussie par aucun sujet.

Sur le graphique, présenté en Figure 8.2, sont illustrées les performances des participants (% de réussite), par tranches d'âges (bâtons de couleurs), pour l'ensemble des parcours effectués (parcours 1 à 13). Les parcours sont, ici encore, présentés par ordre d'apparition dans la série d'exercices, proposée lors de l'expérimentation.

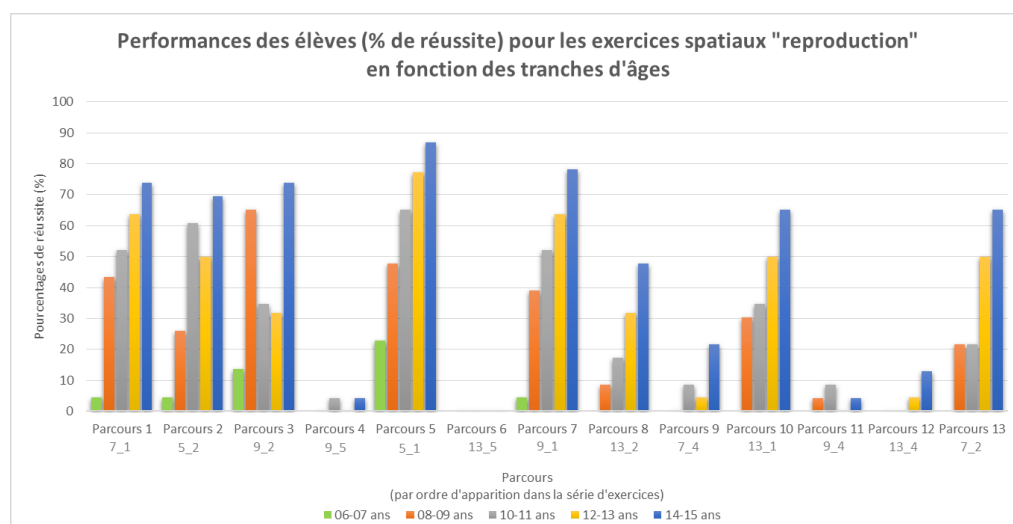


Figure 8.2 – Statistiques descriptives - Performances de réussite des participants (en %) en fonction des tranches d'âges pour chacun des parcours réalisés dans V-Squarecity

La présentation des résultats par tranches d'âges permet de remarquer, pour chacun des parcours, une différence de pourcentages de réussite quasi-systématique en défaveur des plus jeunes. En effet, pour la majorité des parcours dépassant un minimum de 10% de réussite quelle que soit la tranche d'âge, on constate que les pourcentages de réussite augmentent à mesure que l'âge des participants croît*. Seul le parcours 3 (« 9_2 ») présente un profil sensiblement différent. Pour ce parcours, il apparaît que les performances des participants âgés de 8-9 ans dépassent largement les performances des participants âgés de 10-11 ans et 12-13 ans. Un intérêt particulier est porté à ce résultat au point 7.

➤ Analyses inférentielles

Dans l'optique de confirmer du point de vue de la statistique inférentielle qu'il existe des différences de pourcentages de réussite significatives en fonction de l'âge des

participants pour chaque parcours réalisé, des χ^2 ont été calculés (Tableau 8.7). La présentation des R^2 ainsi que des coefficients Alpha permet de prendre connaissance du degré de relation existant entre les deux variables considérées (R^2) ainsi que du sens de cette relation et de l'importance de la pente (Coeff. A).

Tableau 8.7 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity en fonction de l'âge pour chacun des parcours considérés

Numéro du parcours	Caractéristiques (nPD_nPI)	Statistique χ^2	p	R^2	Coeff. A
Parcours 1	7_1	25,104	.000	.847	.077
Parcours 2	5_2	26,084	.000	.836	.077
Parcours 3	9_2	20,115	.000	.455	.050
Parcours 4	9_5	5,770	.217	-----	-----
Parcours 5	5_1	24,149	.000	.963	.079
Parcours 6	13_5	-----	-----	-----	-----
Parcours 7	9_1	29,858	.000	.884	.086
Parcours 8	13_2	20,281	.000	.954	.062
Parcours 9	7_4	6,546	.162	-----	-----
Parcours 10	13_1	23,010	.000	.946	.075
Parcours 11	9_4	4,639	.326	-----	-----
Parcours 12	13_4	3,897	.420	-----	-----
Parcours 13	7_2	25,633	.000	.988	.079

La lecture du Tableau 8.7 permet d'affirmer l'existence de différences significatives des pourcentages de réussite en fonction de l'âge des participants pour les parcours 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10 et 13. Aucune différence de pourcentages de réussite n'apparaît comme étant significative pour les parcours ayant comme dénominateur commun, un nombre de point d'inflexion (nPI) supérieur ou égal à 4. Les résultats relatifs aux calculs des R^2 permettent d'apprécier la qualité des relations linéaires existantes entre les performances et l'âge pour chacun des parcours, à l'exception du parcours « 9_2 » ($R^2 = .455$). Les calculs du Coeff. A confirment le fait que les performances s'améliorent à mesure que l'âge des participants augmente. En effet, les valeurs de Coeff. A (excepté pour le parcours 9_2) sont éloignées de 0.

1.5.3 S-Q.1.3. Les pourcentages de réussite varient-ils en fonction de l'ordre de passage des parcours ?

Le graphique, présenté en Figure 8.2, laisse supposer qu'il n'y a pas d'effet net d'apprentissage étant donné que certains parcours, réalisés en fin d'expérimentation, sont moins bien réussis en comparaison aux premiers parcours proposés. Cependant, un effet de lassitude ou de fatigue ne peut être exclu malgré le fait que le dernier parcours (13) soit mieux réussi que les parcours 11 et 12. Alors que l'ensemble des participants ont réalisé les exercices dans le même ordre, on s'interroge ici sur la prédiction des pourcentages de réussite en fonction de l'ordre de passage. Une régression linéaire simple a été réalisée. Sa faible valeur ($R^2 = .182$) confirme le fait que le degré d'influence de la variable « ordre » sur la variable dépendante est très faible. Ainsi, on peut affirmer, en fonction des résultats de l'analyse, que la variable « ordre » n'influence pas les pourcentages de réussite.

1.5.4 H.1.1. Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent de la longueur du parcours, définie en termes de nombre de points de décisions.

Après avoir mis en évidence des différences de performances significatives en fonction de l'âge pour certains des parcours réalisés, on s'interroge à présent sur la complexité intrinsèque des parcours proposés en ne considérant que leurs longueurs. Pour rappel, ceux-ci étaient de longueurs variables (5, 7, 9 et 13 points de décision, nPD).

➤ Analyses descriptives

Sur le graphique, proposé en Figure 8.3, sont mises en relation les performances par tranches d'âges en fonction du nombre de points de décision présents, dans les parcours « reproduction ».

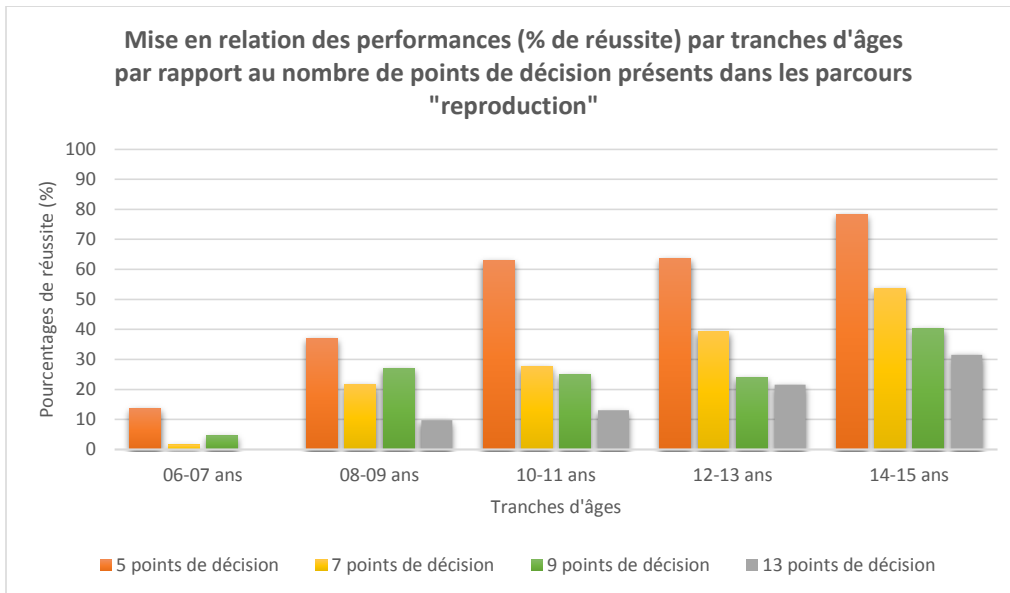


Figure 8.3 – Statistiques descriptives - Performances de réussite des participants (en %) en fonction des parcours « reproduction » caractérisés par un nombre de points de décision (nPD)

Par la lecture du graphique, on remarque que, quelles que soient les tranches d'âges considérées, les participants réussissent mieux les parcours comprenant cinq points de décision que les parcours comprenant 7, 9 ou 13 points de décision. Si l'on constate que les performances des participants, âgés de 10 à 15 ans, baissent de façon progressive en fonction de l'augmentation du nombre de points de décision, on peut toutefois remarquer que les performances des participants âgés de 6 à 9 ans ne suivent pas le même profil. En effet, les performances des groupes âgés de 6-7 ans et 8-9 ans présentent un meilleur pourcentage de réussite pour les parcours avec 9 points de décision que pour les parcours avec 7 points de décision. Les raisons pouvant expliquer cette différence de performances sont expliquées au point 7.

➤ Analyses inférentielles

Alors que des différences de pourcentages de réussite, en fonction du nombre de points de décision considéré, ont pu être remarquées par la présentation du graphique précédent, on cherche à présent à savoir si ces différences sont statistiquement significatives. Dans un premier temps, en considérant l'ensemble des participants (indépendamment de leur appartenance à une tranche d'âge), les χ^2 calculés confirment l'existence des différences de pourcentages de réussite significatives entre les parcours comportant 5, 7, 9 et 13 points de décisions ($\chi^2 = 91,309$; $p = .000$). Dans un second

temps, en scindant le groupe de participants en fonction de leur appartenance à une tranche d'âge, des différences significatives de pourcentages de réussite apparaissent pour chacune des tranches d'âges considérées (Tableau 8.8). Le R^2 calculé permet d'apprécier la qualité de la relation linéaire des variables pour les participants âgés de 12-13 ans et 14-15 ans. Le Coeff. A permet, quant à lui, de préciser que les performances diminuent en fonction de l'augmentation du nombre de points de décision.

Tableau 8.8 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de « reproduction », dans V-Squarecity, en fonction des parcours caractérisés par un nombre de points de décision (nPD)

	Statistique χ^2	<i>p</i>	R^2	Coeff. A.
6-7 ans	16,010	.001	.582	-.014
8-9 ans	13,953	.003	.808	-.028
10-11 ans	34,907	.000	.794	-.054
12-13 ans	24,707	.000	.857	-.049
14-15 ans	27,240	.000	.865	-.053

1.5.5 H.1.2. Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent du nombre de tournants, défini en termes de nombre de points d'inflexion présents dans le parcours.

Comme il s'est avéré intéressant de s'interroger sur la complexité des parcours proposés en considérant leurs longueurs, on cherche à présent à savoir si le nombre de points d'inflexion est un paramètre qui influence le pourcentage de réussite des parcours. Pour rappel, les parcours comprenaient plus ou moins de points d'inflexion, c'est-à-dire plus ou moins de tournants effectifs (1, 2, 4 et 5 points d'inflexion, nPI).

➤ Analyses descriptives

Sur la Figure 8.4 sont repris les pourcentages de réussite par tranches d'âges par rapport aux parcours ayant le même nombre de points d'inflexion (1, 2, 4 et 5 points d'inflexion). Ne sont donc, pas ici, prises en compte les différences de longueur des parcours.

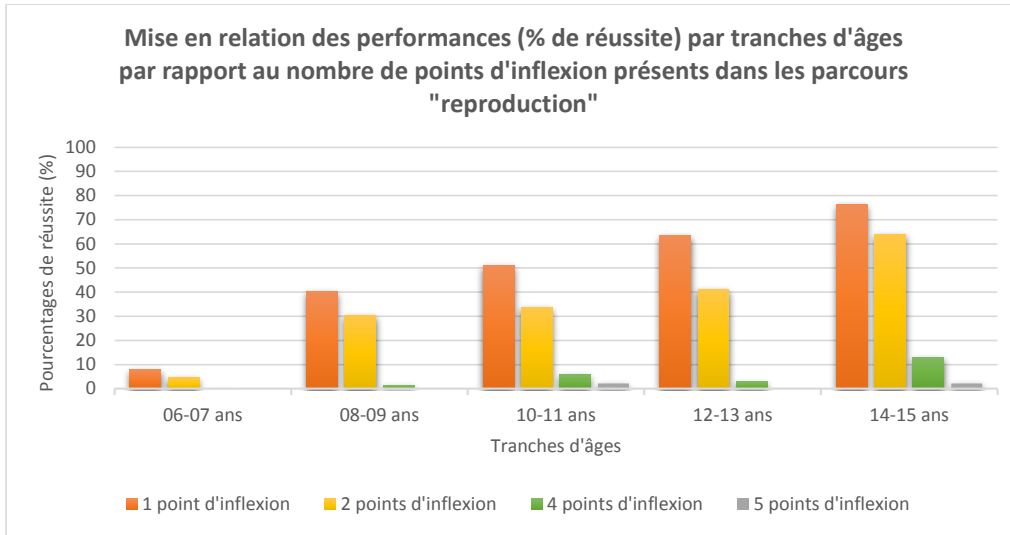


Figure 8.4 - Performances de réussite des participants (en %) en fonction des parcours « reproduction » caractérisés par un nombre de points d'inflexion (nPI)

Comme le montre la Figure 8.4, au plus le nombre de points d'inflexion présentés dans les parcours est important, au plus les pourcentages de réussite diminuent. Quelles que soient les tranches d'âges considérées, les participants réussissent mieux les parcours comprenant un ou deux points d'inflexion que les parcours comprenant 4 ou 5 points d'inflexion.

➤ Analyses inférentielles

Alors que la diminution des pourcentages de réussite, en fonction de l'augmentation du nombre de point d'inflexion, a été remarquée lors de la lecture du graphique précédent, on cherche ici à savoir si les différences de pourcentages de réussite (toutes tranches d'âges confondues) peuvent être confirmées du point de vue de la statistique inférentielle. Le χ^2 calculé, sur l'ensemble des participants, permet d'affirmer que les pourcentages de réussite des participants dépendent du nombre de points d'inflexion présents dans le parcours ($\chi^2 = 250,280$; $p = .000$). Les χ^2 calculés sur chacun des groupes de participants (définis selon 5 tranches d'âges) permettent d'affirmer que des différences de pourcentages de réussite significatives peuvent être observées pour chacune des tranches d'âges (Tableau 8.9).

Tableau 8.9 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de reproduction dans V-Squarecity en fonction des parcours caractérisés par un nombre de points d'inflexion (nPI)

	Statistique χ^2	<i>p</i>	R ²	Coeff. A
6-7 ans	8,533	.036	.932	-.020
8-9 ans	38,787	.000	.943	-.097
10-11 ans	57,587	.000	.984	-.130
12-13 ans	77,472	.000	.991	-.163
14-15 ans	103,558	.000	.981	-.193

1.5.6 S-Q.1.4. Les pourcentages de réussite varient-ils davantage en fonction du nombre de points de décision ou du nombre de points d'inflexion présents dans les parcours de « reproduction » ?

En comparant les valeurs du coefficient Alpha, en fonction des tranches d'âges pour les parcours caractérisés par leur nPD ou leur nPI, on constate que, quelles que soient les tranches d'âges, les pourcentages de réussite chutent lorsque l'on considère les parcours définis par leur nPI par rapport aux parcours définis par leur nPD (Tableau 8.10). Cette diminution est la moins forte à l'âge de 6-7 ans. Ceci peut être expliqué par le fait que les pourcentages de réussite sont, d'une part et d'autre, assez faibles pour cette tranche d'âge. La diminution du pourcentage de réussite est plus de 3,5 fois plus importante à l'âge de 14-15 ans. Il apparaît donc que les parcours caractérisés par un nombre de PI sont moins bien réussis que les parcours caractérisés par un nombre de PD.

Tableau 8.10 – Coefficients Alpha et rapports des coefficients Alpha (différences de pentes des droites de régression) concernant les parcours définis par un nPD et un nPI

Coeff. A. selon les Tranches d'âges	Parcours caractérisés selon leur nPD	Parcours caractérisés selon leur nPI	Rapports des différences de pentes (Coeff. A.)
6-7 ans	-.014	-.020	1,43
8-9 ans	-.028	-.097	3,46
10-11 ans	-.054	-.130	2,41
12-13 ans	-.049	-.163	3,33
14-15 ans	-.053	-.193	3,64

1.6 Synthèse des résultats de l'expérimentation 1

Le tableau suivant (Tableau 8.11) synthétise les résultats obtenus relatifs à la première expérimentation.

Tableau 8.11 – Synthèse des résultats de la première expérimentation

S-Q.1.1.	Les performances des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity, en termes de scores moyens, s'améliorent-elles en fonction de leur âge ?	Oui	Les performances des participants aux exercices de navigation par « reproduction » s'améliorent avec l'âge ($R^2 = 0,944$) et les différences de performances entre les tranches d'âges sont significatives ($F(4,108) = 18.29$, $p = .000$). Le post hoc test de Games-Howell permet de situer les différences de performances significatives entre les participants âgés de 6-7 ans et l'ensemble des participants plus âgés, entre les participants âgés de 8-9 ans et les participants âgés de 14-15 ans ($p = .001$) et entre les participants âgés de 10-11 ans et ceux âgés de 14-15 ans ($p = .030$).
S-Q.1.2.	Les pourcentages de réussite des participants, répartis par tranches d'âges, aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent-ils des parcours proposés lors de l'expérimentation ?	Oui	Il existe des différences significatives de pourcentages de réussite en fonction de l'âge des participants pour l'ensemble des parcours réalisés, à l'exception de ceux qui comprennent 4 ou 5 PI ($p > .05$).
S-Q.1.3.	Les pourcentages de réussite varient-ils en fonction de l'ordre de passage des parcours ?	Non	Le degré d'influence de la variable « ordre » sur la variable dépendante « pourcentages de réussite » est très faible ($R^2 = .182$).
H.1.	Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent de la longueur du parcours définie en termes de nombre de points de décisions.	Confirmée	Il existe des différences de pourcentages significatives de réussite entre les parcours comportant 5, 7, 9 et 13 points de décisions ($\chi^2 = 91,309$; $p = .000$) (toutes tranches d'âges confondues). Des différences de pourcentages significatives de réussite apparaissent également pour chacune des tranches d'âges considérées.

H.2.	Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « reproduction » dépendent du nombre de tournants, défini en termes de nombre de points d'inflexion, présents dans le parcours.	Confirmée	Les pourcentages de réussite des participants dépendent du nombre de point d'inflexion présents dans le parcours ($\chi^2 = 250,280$; $p = .000$) (toutes tranches d'âges confondues). Des différences significatives de pourcentages de réussite sont également observées pour chacune des tranches d'âges.
S-Q.1.4.	Les pourcentages de réussite varient-ils davantage en fonction du nombre de points de décision ou du nombre de points d'inflexion présents dans les parcours de « reproduction » ?	Oui	La comparaison des valeurs du coefficient Alpha en fonction des tranches d'âges pour les parcours caractérisés par leur nPD ou leur nPI révèle que les pourcentages de réussite chutent davantage lorsque l'on considère les parcours définis par leur nPI par rapport aux parcours définis par leur nPD (cette diminution du pourcentages de réussite est de 1,5 fois plus importante pour les participants âgés de 6-7 ans et, de plus de 3,5 fois plus importante à l'âge de 14-15 ans).

2. Expérimentation 2 : Exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity

2.1 Questions & Hypothèses

La deuxième expérimentation réalisée porte sur les exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity.

La principale question de cette deuxième expérimentation est : « Quels sont les paramètres qui augmentent la complexité intrinsèque des exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity ? » (Q.2.).

Comme lors de la première expérimentation, pour répondre à la question posée, plusieurs sous-questions sont formulées et un intérêt est porté aux différences de performances en fonction de l'âge des participants.

On cherche donc d'abord à savoir si, dans un environnement régulier, les pourcentages de réussite aux exercices de navigation par « décentration » dépendent de l'âge des participants :

- S-Q.2.1. Les performances des participants aux exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity, en termes de scores moyens, s'améliorent-elles en fonction de leur âge ?

Suite à cela, on porte une attention particulière, par le biais des pourcentages de réussite, aux parcours réalisés :

- S-Q.2.2. Les pourcentages de réussite des participants, répartis par tranches d'âges, aux exercices de navigation par « décentration » dépendent-ils des parcours proposés lors de l'expérimentation ?

Étant donné que les parcours sont proposés, dans un ordre défini lors de l'expérimentation, on s'interroge sur le degré d'influence de la variable « ordre » sur la variable dépendante, à savoir le pourcentage de réussite :

- S-Q.2.3. Les pourcentages de réussite varient-ils en fonction de l'ordre de passage des parcours ?

S'en suit une réflexion sur la complexité intrinsèque des parcours réalisés. Définis selon deux caractéristiques distinctes (décrites en termes de nPD et de nPI), on postule que les caractéristiques des parcours de navigation influencent les pourcentages de réussite :

- H.2.1. Les pourcentages de réussite des participants, aux exercices de navigation par « décentration », dépendent de la longueur du parcours, définie en termes de nombre de points de décisions. Un parcours de « reproduction » comportant moins de points de décision est mieux réussi qu'un parcours de « reproduction » avec un nombre de points de décision plus important.
- H.2.2. Les pourcentages de réussite des participants, aux exercices de navigation par « décentration », dépendent du nombre de tournants, défini en termes de nombre de points d'inflexion présents dans le parcours. Un parcours de « reproduction » comportant moins de points d'inflexion est mieux réussi qu'un parcours de « reproduction » comportant un nombre de points d'inflexion plus important.

2.2 Rappel de l'exercice de navigation par « décentration » (parcours de décentration)

Cette expérimentation porte sur la réalisation d'exercices de navigation par « décentration ». Pour rappel, le participant devait parcourir un itinéraire dans l'environnement virtuel en suivant les balises (points bleus indiquant le chemin à suivre). Dès qu'il arrivait à la fin du parcours, l'ordinateur lui faisait effectuer un demi-tour et le participant devait alors exécuter le même parcours en sens inverse, sans l'aide des balises bleues.

Les exercices de navigation spatiale par « décentration » sont, comme pour les exercices de navigation par « reproduction » réalisés précédemment, effectués dans l'environnement V-Squarecity et caractérisés par un nombre de points de décision (nPD) et de points d'inflexion (PI). Les treize parcours utilisés pour les exercices de navigation par « reproduction » ont été réutilisés (Tableau 8.12). L'ordre de passage de ces parcours est également identique à l'ordre établi pour la première expérimentation.

Tableau 8.12 – Parcours de décentration réalisés dans V-Squarecity lors de la deuxième d'expérimentation

Parcours de décentration (par ordre de passage)	nPD	nPI
Parcours 1	7	1
Parcours 2	5	2
Parcours 3	9	2
Parcours 4	9	5
Parcours 5	5	1
Parcours 6	13	5
Parcours 7	9	1
Parcours 8	13	2
Parcours 9	7	4
Parcours 10	13	1
Parcours 11	9	4
Parcours 12	13	4
Parcours 13	7	2

2.3 Echantillon

Cette expérimentation a été réalisée avec 113 enfants âgés de 6 à 15 ans. Les critères d'inclusion, présentés dans la partie « Echantillonnage » de cet écrit, ont été appliqués.

Des groupes de 23 enfants ont été constitués sur la base des tranches d'âges (6-7 ans ; 8-9 ans ; 10-11 ans ; 12-13 ans ; 14-15 ans). Etant donné l'application des critères d'inclusion, certains groupes comprennent 22 enfants ou adolescents (Tableau 8.13). Les participants ne saisissant pas les consignes ont été écartés. Comme dit précédemment, les participants à cette deuxième expérimentation sont ceux à qui a été attribué un numéro impair (1^{er}, 3^e, 5^e... élève des classes sélectionnées).

Tableau 8.13 - Echantillon d'élèves pour les exercices de navigation par « décentration »

Tranches d'âges	Effectifs	Pourcentages
6-7 ans	22	19,5
8-9 ans	23	20,4
10-11 ans	22	19,5
12-13 ans	23	20,4
14-15 ans	23	20,4
Total	113	100,0

2.4 Présentation des données utilisées

L'indicateur utilisé pour mesurer les performances des participants est la reproduction parfaite en sens inverse des parcours. Un exercice n'est réussi que lorsque le participant rejoint le point de départ en passant par les mêmes points de décision que lors du suivi de balises.

Comme pour la partie relative aux exercices de navigation par « reproduction », la section « Résultats » qui suit porte sur deux types de données portant sur l'indicateur précité. Il s'agit :

- d'une part, de considérer la réussite globale pour les treize parcours réalisés en calculant des scores moyens (%) qui sont utilisés dans les analyses de variances.
- d'autre part, il s'agit de considérer la réussite ou l'échec pour chacun des parcours dans le but de travailler à partir de pourcentages de réussite (%) et réaliser le calcul de χ^2 . Pour la statistique de χ^2 , il est à noter que lorsque les cellules ont des effectifs théoriques inférieurs à 5, des tests de Fisher (2x2, 4x2, 5x2) ont été appliqués.

La distribution des données a été vérifiée au moyen du test de Kolmogorov-Smirnov ($p > .05$). Les valeurs de Skewness et de Kurtosis ont également été vérifiées (valeur normale si comprise entre -1 et 1, postulat d'homoscédasticité).

2.5 Résultats

2.5.1 S-Q.2.1. Les performances des participants aux exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity, en termes de scores moyens, s'améliorent-elles en fonction de leur âge ?

Comme pour les exercices de navigation par « reproduction », il est question de s'interroger sur l'existence de différences de scores moyens des exercices de navigation par « décentration » en fonction de l'âge des participants. Les scores moyens sont calculés à partir des treize parcours « décentration » réalisés. Un seul score moyen (en %) est attribué à chacun des participants.

➤ Analyses descriptives

Le graphique présenté ci-dessous (Figure 8.5) reprend les scores moyens calculés pour chaque âge. La lecture du graphique permet de rendre compte d'une amélioration des scores moyens en fonction de l'âge des participants. Le score moyen est de 1,75% à l'âge de 6-7 ans et 2,34% à l'âge de 8-9 ans. Ce score atteint presque les 10% (9,1%) à l'âge de 10-11 ans. À l'âge de 12-13 ans, il augmente encore et atteint les 13,93%. Il est de 16,06% à l'âge de 14-15 ans.

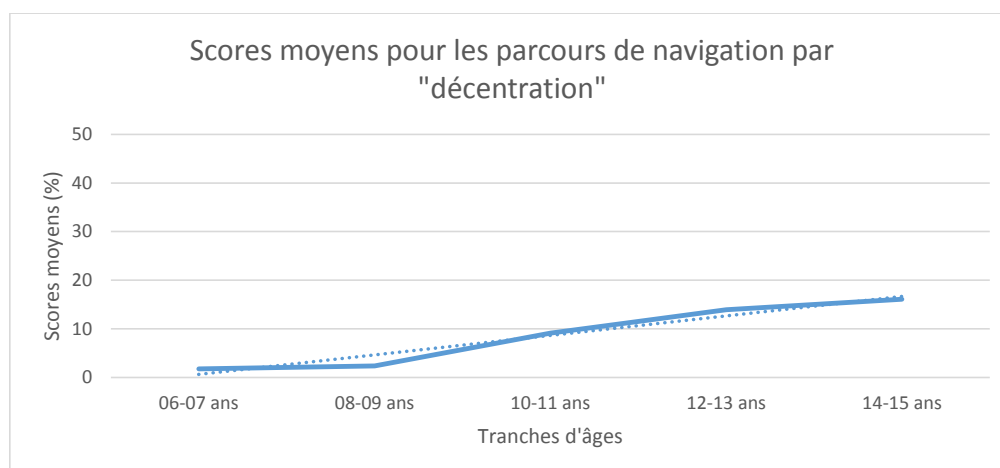


Figure 8.5 – Analyse descriptive : Performances en termes de scores moyens (%) en fonction des âges des participants

➤ Analyses inférentielles

Sur la Figure 8.5, on a pu remarquer une amélioration globale des scores moyens en fonction de l'âge des élèves. Ceci est confirmé par le coefficient de détermination

calculé (R^2) qui a une valeur élevée (0,948). Les tranches d'âges peuvent expliquer près de 95% de la variabilité des scores moyens.

Alors que les résultats de la statistique descriptive mettent en évidence des différences de scores moyens en fonction des âges des participants, on cherche à présent à savoir si les différences de SM remarquées entre les tranches d'âges sont ou non significatives. Comme pour l'expérimentation 1, une ANOVA à un facteur est réalisée (Tableau 8.14).

Tableau 8.14 – Analyses inférentielles : ANOVA à un facteur, réalisée à partir des scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « décentration »

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	<i>p</i>
Inter-groupes	3749,359	4	937,340	8,789	,000
Intra-groupes	11518,078	108	106,649		
Total	15267,437	112			

L'ANOVA à un facteur calculée permet d'affirmer qu'il existe une différence significative de performances entre les tranches d'âges considérées ($F(4,108) = 8.789$, $p = .000$). L'application du post hoc de Games-Howell permet à présent de situer les différences de performances à travers les différentes tranches d'âges considérées (Tableau 8.15).

Tableau 8.15 – Analyses inférentielles : Comparaisons multiples - Post hoc de Games-Howell réalisé à partir des scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « décentration »

Variable dépendante	(I) âges	(J) âges	<i>p</i>
Scores moyens pour l'ensemble des parcours de navigation par « décentration »	6-7 ans	8-9 ans	,991
		10-11 ans	,052
		12-13 ans	,006
		14-15 ans	,000
	8-9 ans	10-11 ans	,109
		12-13 ans	,011
		14-15 ans	,001
	10-11 ans	12-13 ans	,787
		14-15 ans	,318
	12-13 ans	14-15 ans	,961

Alors que les résultats du test post hoc montrent qu'il n'existe pas de différence de performances entre le groupe de participants âgés de 6-7 ans et le groupe de participants âgés de 8-9 ans ($p > .05$), des différences de performances entre les participants âgés de 6-7 ans et ceux âgés de 10-11 ans ont été relevées à la limite de la significativité

($p = .052$). Les performances des participants âgés de 6-7 ans diffèrent, quant à elles, significativement des performances des participants âgés de 12-13 ans ($p = .006$) et de 14-15 ans ($p = .000$). Concernant le groupe d'élèves âgés de 8-9 ans, leurs performances ne diffèrent pas significativement des participants âgés de 10-11 ans ($p > .05$) alors qu'elles sont significativement différentes des performances des participants âgés de 12-13 ans ($p = .011$) et de 14-15 ans ($p = .001$). Pour ce qui est des performances des participants âgés de 10-11 ans, elles ne diffèrent pas significativement des performances des participants âgés de 12-13 ans ($p > .05$) ni de celles de participants de 14-15 ans ($p > .05$). Enfin, les performances des participants âgés de 12-13 ans ne sont pas significativement différentes des performances des participants âgés de 14-15 ans ($p > .05$).

2.5.2 S-Q.2.2. Les pourcentages de réussite des participants, répartis par tranches d'âges, aux exercices de navigation par « décentration » dépendent-ils des parcours proposés lors de l'expérimentation ?

➤ *Analyses descriptives*

Suite à l'analyse des performances des participants en termes de scores moyens en fonction de leur âge, on s'intéresse ici aux différents parcours réalisés. Dans le tableau ci-dessous (Tableau 8.16), sont présentés les parcours réalisés par ordre d'apparition dans l'expérimentation, leurs caractéristiques (en nPD et nPI) ainsi que les pourcentages de réussite de l'ensemble des participants (tous âges confondus). La lecture du tableau permet de remarquer que les pourcentages de réussite sont relativement faibles pour chacun des parcours. Les parcours les mieux réussis sont les parcours 1 (20,22% de réussite) et 5 (19,32% de réussite). S'en suivent les parcours 2 (14,06%), 7 et 10 (11,42%). Les parcours 8, 3, 11, 13, 9 et 6 affichent, quant à eux, un pourcentage de réussite inférieur à 10%. Aucun participant n'a réussi les parcours 4 et 12.

Tableau 8.16 - Performances (% de réussite) de tous les participants (tous âges confondus) pour les exercices spatiaux "décentration"

Parcours réalisés (par ordre d'apparition dans la série d'exercices)	Caractéristiques du parcours (nPD_nPI)	Pourcentages de réussite (%)
Parcours 1	7_1	20,22
Parcours 2	5_2	14,06
Parcours 3	9_2	8,7
Parcours 4	9_5	0
Parcours 5	5_1	19,32
Parcours 6	13_5	1,72
Parcours 7	9_1	11,42
Parcours 8	13_2	9,64
Parcours 9	7_4	1,74
Parcours 10	13_1	11,42
Parcours 11	9_4	5,28
Parcours 12	13_4	0
Parcours 13	7_2	4,36

Sur le graphique, présenté en Figure 8.6, sont illustrées les performances des élèves (% de réussite), par tranches d'âges (bâtons de couleurs), pour l'ensemble des parcours effectués (parcours 1 à 13). Les parcours sont ici présentés par ordre d'apparition comme lors de l'expérimentation proposée.

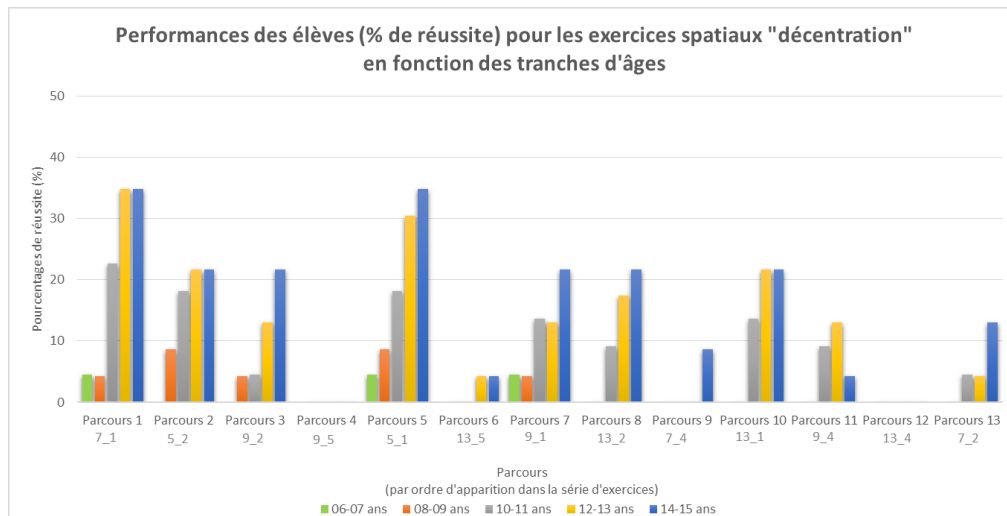


Figure 8.6 - Statistiques descriptives – Performances de réussite des participants (en %) en fonction des tranches d'âges pour chacun des parcours de « décentration » réalisés dans V-Squarecity

Le graphique, présenté ci-dessus, permet d'apprécier les résultats en termes de pourcentages de réussite, à chacun des parcours, par tranches d'âges. Par sa lecture, on peut remarquer que peu de participants, âgés de 6-7 ans et de 8-9 ans, réussissent les exercices demandés (moins de 10% de réussite pour les parcours 1, 2, 3, 5, 7). Concernant les parcours 1 et 5, mis en évidence lors de la lecture du tableau précédent, on remarque que, plus de 30% des participants âgés de 12-13 ans et de 14-15 ans parviennent à réaliser les deux exercices correctement. Ces deux exercices sont également mieux réussis par les participants âgés de 10-11 ans (parcours 1 : 22,7% de réussite et parcours 5 : 18,20% de réussite). En ce qui concerne les autres parcours, les pourcentages de réussite restent assez faibles quelle que soit la tranche d'âge considérée. Le parcours 9 n'a été réussi que par quelques participants âgés de 14-15 ans (moins de 10%). Comme mentionné lors de la lecture du tableau, les parcours 4 et 12 n'ont été réussis par aucun des participants.

➤ *Analyses inférentielles*

Afin de confirmer l'existence de différences de pourcentages de réussite significatives en fonction de l'âge pour certains parcours réalisés, des χ^2 ont été calculés (Tableau 8.17). Les R^2 présentés permettent de prendre connaissance du degré de relation existant entre les deux variables considérées tandis que les coefficients Alpha (Coeff. A) indiquent le sens de cette relation linéaire et l'importance de la pente de la droite de régression.

Tableau 8.17 – Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity en fonction de l'âge pour chacun des parcours considérés

Numéro du parcours	Caractéristiques (nPD_nPI)	Statistique χ^2	p	R^2	Coeff. A
Parcours 1	7_1	13,010	.007	.891	.045
Parcours 2	5_2	6,661	.101	-----	-----
Parcours 3	9_2	8,458	.084	-----	-----
Parcours 4	9_5	-----	-----	-----	-----
Parcours 5	5_1	10,055	.037	.972	.041
Parcours 6	13_5	2,966	.999	-----	-----
Parcours 7	9_1	4,722	.355	-----	-----
Parcours 8	13_2	10,170	.019	.944	.030
Parcours 9	7_4	7,967	.193	-----	-----
Parcours 10	13_1	10,681	.013	.888	.033
Parcours 11	9_4	5,927	.231	-----	-----
Parcours 12	13_4	-----	-----	-----	-----
Parcours 13	7_2	6,124	.250	-----	-----

La lecture du Tableau 8.17 permet d'affirmer l'existence de différences significatives des pourcentages de réussite en fonction de l'âge des participants pour les parcours 1, 5, 8 et 10. Aucune différence de performances, en termes de pourcentages de réussite, en fonction de l'âge n'est remarquée pour les autres parcours. Les R^2 calculés dépassent tous le seuil minimum de .70. Ainsi, on peut constater que le degré de relation linéaire existant entre les variables considérées est très correct. Les faibles valeurs du Coeff. A (proche de 0) conduisent néanmoins à remarquer que les performances ne s'améliorent pas de façon stricte à chaque âge.

2.5.3 S-Q.2.3. Analyses inférentielles : Les pourcentages de réussite varient-ils en fonction de l'ordre de passage des parcours ?

Comme pour les exercices de navigation par « reproduction », les exercices de navigation par « décentration » ont été réalisés par l'ensemble des participants dans le même ordre de passage. Afin de prédire un éventuel effet « ordre », un R^2 a été calculé. Sa faible valeur ($R^2 = .288$) confirme le fait que la variable « ordre » influence peu les pourcentages de réussite.

2.5.4 H.2.1. Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « décentration » dépendent du nombre de tournants, défini en termes de nombre de points d'inflexion présents dans le parcours.

Comme cela a été fait pour les parcours de « reproduction », un intérêt est ici porté à la complexité des parcours de « décentration » en ne considérant que leurs longueurs (5, 7, 9 et 13 points de décision, nPD).

➤ *Analyses descriptives*

Sur le graphique, proposé en Figure 8.7, sont mises en relation les performances par tranches d'âges en fonction du nombre de points de décision présents dans les parcours « décentration ». Les performances sont exprimées en pourcentages de réussite (%). Les parcours sont regroupés en fonction de leur nombre de points de décision.

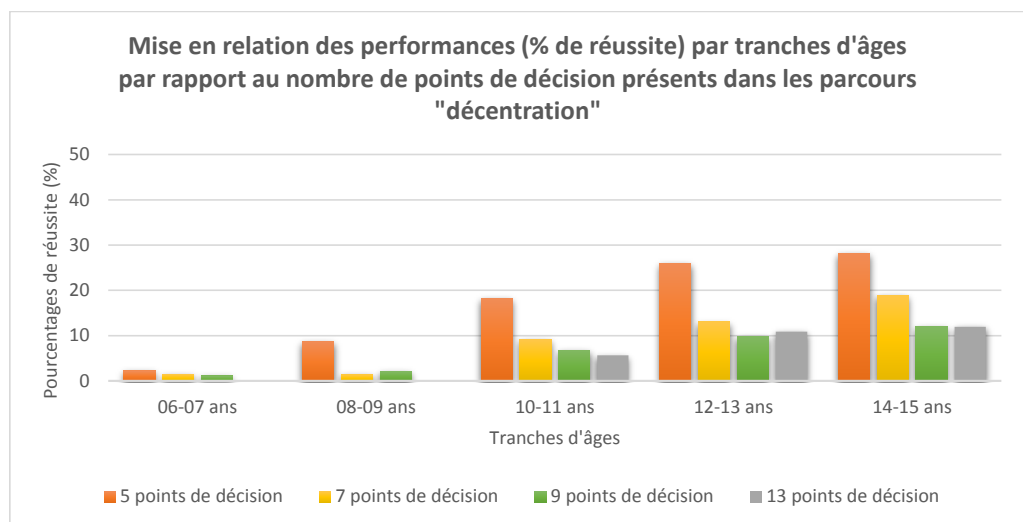


Figure 8.7 - Statistiques descriptives – Performances de réussite des participants (en %) en fonction des parcours « décentration » caractérisés par un nombre de points de décision (nPD)

La lecture de ce graphique permet d'abord de mettre en évidence le fait que les parcours comprenant 5 points de décisions sont mieux réussis que les parcours en comprenant 7, 9 ou 13. À l'âge de 6-7 ans, les performances sont très faibles (en-deçà de 3%), quelle que soit la longueur des parcours. À l'âge de 8-9 ans, les pourcentages de réussite pour les parcours comprenant 5 points de décision avoisinent les 10% ; les parcours avec 7 et 9 nPD sont réussis par moins de 3% des participants. Il est à noter qu'aucun des participants âgés de 6-7 ans et 8-9 ans ne réussit les parcours avec 13 points de décision.

À l'âge de 10-11 ans, 18,20% des participants réussissent les exercices proposés quand les parcours contiennent 5 points de décision. Ce pourcentage descend en dessous de la barre des 10% de réussite pour les parcours comprenant 7, 9 et 13 points d'inflexion. En ce qui concerne les participants âgés de 12-13 ans, ils sont 26,05% à réussir les parcours comportant 5 points d'inflexion. Pour les parcours comprenant 7, 9 et 13 points de décision, les pourcentages de réussite n'atteignent plus respectivement que les 13%, 9,7% et 10,85% de réussite. Enfin, concernant les participants âgés de 14-15 ans, ce sont eux qui réussissent le mieux les parcours demandés puisqu'ils affichent des pourcentages de réussite de 28,25% (5 nPD), 18,83% (7 nPD), 11,93% (9 nPD et 13 nPD).

➤ Analyses inférentielles

Alors que des différences de performances, en fonction du nombre de points de décision considéré, ont pu être remarquées par la présentation graphique des pourcentages de réussite, on cherche, dans un premier temps, à savoir si ces différences sont statistiquement significatives pour l'ensemble des participants (toutes les tranches d'âges confondues). Le χ^2 calculé met en évidence des différences de pourcentages de réussite significatives entre l'ensemble des parcours ($\chi^2 = 27,393$; $p = .000$). Les différences de performances étant significatives, on cherche à savoir si des différences de performances apparaissent pour chacune des tranches d'âges considérées. Les χ^2 , R^2 et les Coeff. A calculés apparaissent dans le Tableau 8.18.

Tableau 8.18 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de « reproduction » dans V-Squarecity en fonction des parcours caractérisés par un nombre de points de décision (nPD)

	Statistique χ^2	p	R^2	Coeff. A
6-7 ans	1,712	.634	-----	-----
8-9 ans	10,581	.014	.638	-.009
10-11 ans	6,367	.095	-----	-----
12-13 ans	7,944	.047	.544	-.016
14-15 ans	7,776	.051	(.726)	(-.019)

La lecture du Tableau 8.18 permet de remarquer des différences de performances pour les groupes de participants âgés de 8-9 ans ($\chi^2 = 10,581$; $p = .014$) et 12-13 ans ($\chi^2 = 7,944$; $p = .047$). Des différences de performances, à la limite de la significativité, sont trouvées pour le groupe d'élèves âgés de 14-15 ans ($\chi^2 = 7,776$; $p = .051$). Les Coeff. A permettent de confirmer le fait que les performances diminuent en fonction de l'augmentation du nombre de points de décision, même si cette diminution est

relativement faible. Ceci peut être en partie expliqué par la faiblesse des pourcentages de réussite dans chacun des groupes.

2.5.5 H.2.2. Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « décentration » dépendent du nombre de tournants, défini en termes de nombre de points d'inflexion présents dans le parcours.

Comme cela a été fait pour le nombre de points de décision, à présent, une attention particulière est portée au nombre de points d'inflexion. On cherche ainsi à savoir si le nombre de points d'inflexion est un paramètre qui influence la réussite des parcours de « décentration ».

➤ *Analyses descriptives*

Sur la Figure 8.8 sont présentés, par tranches d'âges, les pourcentages de réussite des parcours qui possèdent le même nombre de points d'inflexion.

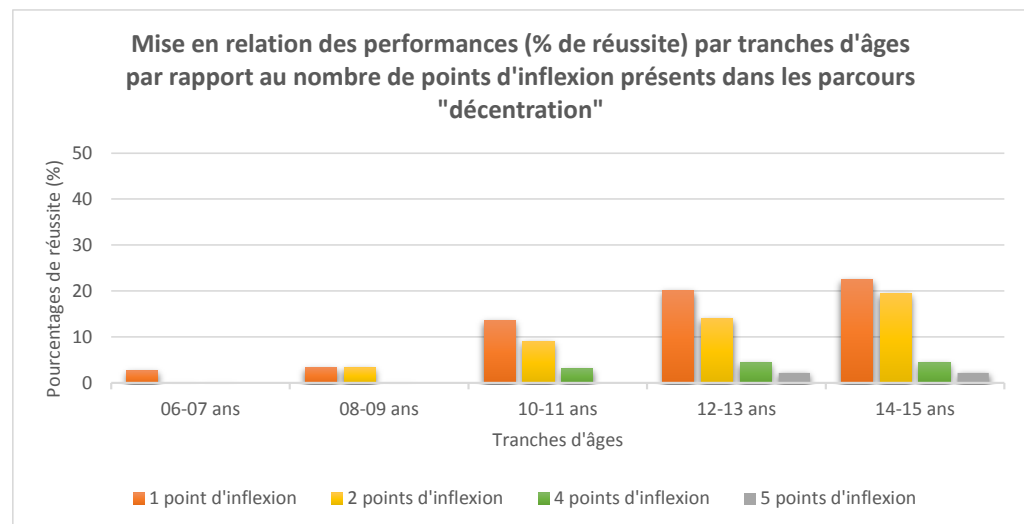


Figure 8.8 - Statistiques descriptives – Performances de réussite des participants (en %) en fonction des parcours « décentration » caractérisés par un nombre de points d'inflexion (nPI)

La lecture du graphique par tranches d'âges permet de constater que les pourcentages de réussite diminuent dépendamment de l'augmentation du nombre de points d'inflexion caractérisant les parcours. À l'âge de 6-7 ans, seuls 2,7% des participants réussissent les parcours comprenant un point d'inflexion. À l'âge de 8-9 ans, les pourcentages de réussite restent très faibles pour les parcours avec 1 et 2 nPI (moins de 4% de réussite). À l'âge de 10-11 ans, un peu plus de 10% des participants réussissent les parcours caractérisés par un point d'inflexion. Ils ne sont plus que 9,08% pour les parcours avec 2 PI et 3,03% pour les parcours avec 4 PI. Aucun des participants de cette tranche d'âge n'a réussi les parcours avec 5 nPI. À l'âge de 12-13 ans, près de 20% des participants parviennent à réussir les parcours avec 1 PI. Ce pourcentage ne dépasse pas les 15% de réussite pour les parcours comprenant deux PI et chutent en dessous des 5% pour les parcours avec 4 PI (4,3% de réussite) et 5 PI (2,15% de réussite). À l'âge de 14-15 ans, les parcours comprenant un et deux PI sont respectivement réussis par 22,6% et 19,5% des participants. Les pourcentages de réussite des participants de cet âge restent faibles pour les parcours ayant un nPI de 4 et de 5 (moins de 5% de réussite).

➤ *Analyses inférentielles*

Puisque des diminutions de pourcentages de réussite en fonction de l'augmentation du nPI ont été remarquées, on cherche à savoir si les différences de performances peuvent être confirmées du point de vue de la statistique inférentielle. Dans un premier temps, on s'intéresse à l'ensemble des participants (toutes tranches d'âges confondues). Le χ^2 calculé permet d'affirmer que les pourcentages de réussite des participants dépendent du nombre de point d'inflexion présents dans le parcours ($\chi^2 = 64,690$; $p = .000$). On cherche ensuite à savoir si les différences de performances peuvent être remarquées pour chacune des tranches d'âges. Les résultats présentés dans le Tableau 8.19 ne permettent de confirmer des différences de performances significatives que pour les participants âgés de 10-11 ans ($\chi^2 = 14,534$; $p = .078$), 12-13 ans ($\chi^2 = 20,607$; $p = .000$) et 14-15 ans ($\chi^2 = 24,606$; $p = .000$). Comme attendu, les performances diminuent en fonction de l'augmentation du nombre de points d'inflexion.

Tableau 8.19 - Statistiques inférentielles relatives aux performances des exercices de « reproduction » dans V-Squarecity en fonction des parcours caractérisés par un nombre de points d'inflexion (nPI)

	Statistique χ^2	p	R^2	Coeff. A
6-7 ans	6,822	.078	-----	-----
8-9 ans	4,718	.194	-----	-----
10-11 ans	14,534	.002	.950	-.040
12-13 ans	20,607	.000	.939	-.055
14-15 ans	24,606	.000	.973	-.067

2.6 Synthèse des résultats de l'expérimentation 2

Le tableau suivant (Tableau 8.20) synthétise les résultats obtenus relatifs à la deuxième expérimentation.

Tableau 8.20 – Synthèse des résultats de la deuxième expérimentation

S-Q.2.1.	Les performances des participants aux exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity, en termes de scores moyens, s'améliorent-elles en fonction de leur âge ?	Oui	Les performances des participants aux exercices de navigation par « décentration » s'améliorent avec l'âge ($R^2 = 0,948$) et les différences de performances entre les tranches d'âges sont significatives ($F(4,108) = 8.789$, $p = .000$). Le post hoc de Games-Howell situe les différences significatives de performances entre les participants âgés de 6-7 ans et ceux âgés de 10-11 ans ($p = .052$, à la limite de la significativité), 12-13 ans ($p = .006$) et de 14-15 ans ($p = .000$). Il montre également des différences significatives de performances entre les participants âgés de 8-9 ans et ceux âgés de 12-13 ans ($p = .011$) et de 14-15 ans ($p = .001$).
S-Q.2.2.	Les pourcentages de réussite des participants, répartis par tranches d'âges, aux exercices de navigation par « décentration » dépendent-ils des parcours proposés lors de l'expérimentation ?	Oui	Il existe des différences significatives de pourcentages de réussite en fonction de l'âge des participants pour plusieurs des parcours réalisés (parcours 5_1, 7_1, 13_1 et 13_2).
S-Q.2.3.	Les pourcentages de réussite varient-ils en fonction de l'ordre de passage des parcours ?	Non	Le degré d'influence de la variable « ordre » sur la variable dépendante « pourcentages de réussite » est assez faible ($R^2 = .288$).

H.2.1.	Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « décentration » dépendent de la longueur du parcours, définie en termes de nombre de points de décisions.	Confirmée	Il existe des différences de pourcentages de réussite significatives entre les parcours comportant 5, 7, 9 et 13 PD ($\chi^2 = 27,393$; $p = .000$) (toutes tranches d'âges confondues). Des différences significatives de pourcentages de réussite sont relevées pour les participants âgés de 8-9 ans ($\chi^2 = 10,581$; $p = .014$), 12-13 ans ($\chi^2 = 7,944$; $p = .047$) et 14-15 ans ($\chi^2 = 7,776$; $p = .051$).
H.2.2.	Les pourcentages de réussite des participants aux exercices de navigation par « décentration » dépendent du nombre de tournants, défini en termes de nombre de points d'inflexion, présents dans le parcours.	Confirmée	Il existe des différences significatives de pourcentages de réussite entre les parcours comportant 1, 2, 4 et 5 points d'inflexion ($\chi^2 = 64,690$; $p = .000$) (toutes tranches d'âges confondues). Des différences de pourcentages de réussite significatives sont relevées pour les participants âgés de 10-11 ans ($\chi^2 = 14,534$; $p = .078$), 12-13 ans ($\chi^2 = 20,607$; $p = .000$) et 14-15 ans ($\chi^2 = 24,606$; $p = .000$).

3. Les exercices de navigation par « reproduction » sont-ils davantage réussis que les exercices de « décentration » dans V-Squarecity ?

3.1 Hypothèse

Après avoir analysé, de façon séparée, les résultats relatifs aux exercices de navigation par « reproduction » et par « décentration », on cherche à présent à savoir lequel de ces deux exercices de navigation est le plus complexe. En regard des résultats présentés ci-avant, on postule que les parcours de « reproduction » sont moins complexes et donc mieux réussis par les participants que les parcours de « décentration » (H.3.).

3.2 Echantillon & présentation des données utilisées

Pour confirmer ou infirmer l'hypothèse posée, on compare ici les performances de deux groupes de participants : les participants qui ont réalisé les exercices de navigation par « reproduction » ($N = 113$) et les participants qui ont réalisé les exercices de navigation par « décentration » ($N = 113$). Ces deux groupes sont ici considérés comme des échantillons indépendants.

Les performances des deux groupes de participants sont définies en termes de scores moyens (SM en %). Chaque participant dispose d'un score correspondant à la proportion de parcours qu'il a correctement accompli. Ainsi, pour exemple, le participant qui réussit sept exercices de navigation sur les treize exercices proposés (treize parcours) obtient un score moyen de 53,80%. Calculés à partir de ces scores, le score moyen pour l'exercice de navigation par « reproduction » est donc la moyenne des pourcentages de réussite des participants ayant réalisé l'ensemble des parcours de « reproduction ». Un score moyen pour l'exercice de navigation par « décentration » est également calculé de cette manière.

3.3 Résultats

3.3.1 Toutes tranches d'âges confondues

➤ *Analyses descriptives*

La lecture de la Figure 8.9 permet de remarquer qu'il existe des différences de performances en termes de scores moyens entre les exercices de navigation par « reproduction » et les exercices de navigation par « décentration ». Il apparaît que les scores moyens des exercices de navigation par « reproduction » sont plus élevés (SM=26,67% ; $\sigma = 21,772$) que les scores moyens des exercices de navigation par « décentration » (SM = 8,58% ; $\sigma = 11,675$).

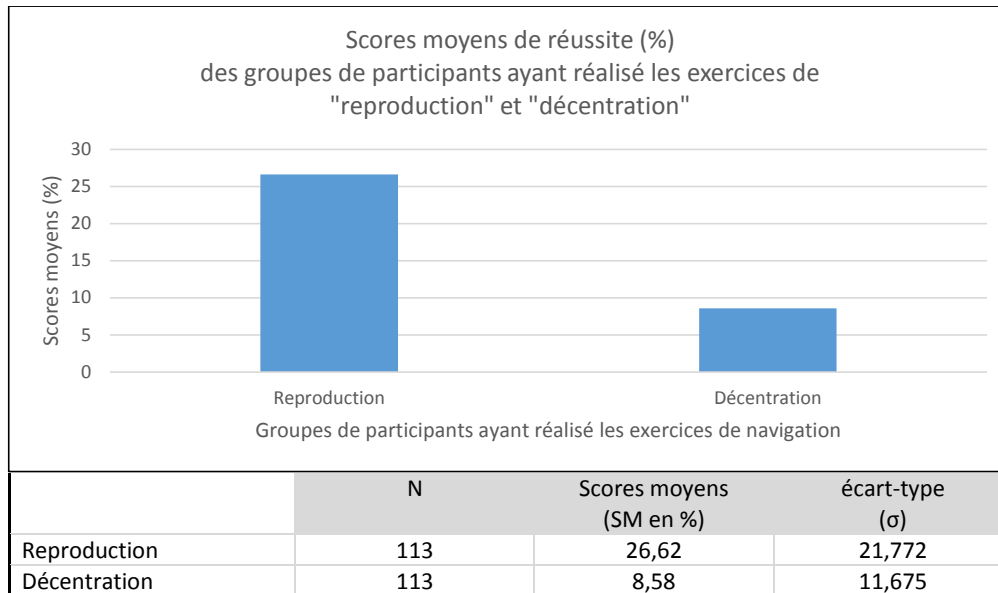


Figure 8.9 – Statistiques descriptives – Scores moyens des groupes ayant réalisé les exercices de navigation par « reproduction » ou par « décentration » (toutes tranches d'âge confondues)

➤ *Analyses inférentielles*

Le test de Kolmogorov-Smirnov calculé révèle que les données ne répondent pas à la loi normale et sont donc anormalement distribuées. En lieu et place du T de Student pour échantillons indépendants, c'est la procédure statistique non-paramétrique de Mann-Whitney qui est ici utilisée. La statistique de Mann-Whitney a pour hypothèse nulle qu'il n'existe pas de différence entre les moyennes des groupes. Etant donné les résultats présentés lors de la section précédente, on postule qu'il existe des différences de performances en termes de scores moyens, en faveur du groupe ayant réalisé les exercices de navigation par « reproduction ». La statistique Mann-Whitney informe d'un effet significatif ($M.-W. = 3118,0$; p unilatérale = .000) permettant de conclure qu'il existe des différences significatives de scores moyens entre les groupes constitués et que ces différences sont à l'avantage du groupe ayant réalisé les exercices de navigation par « reproduction ».

➤ *Par tranches d'âges*

Alors que des différences significatives de scores moyens ont été trouvées entre les deux groupes de participants, on cherche ici à savoir s'il existe, pour chacune des tranches d'âges, des différences de scores moyens en fonction des exercices de navigation effectués.

➤ *Analyses descriptives*

La lecture du graphique présenté en Figure 8.10 permet tout d'abord de remarquer que, quel que soit l'exercice de navigation réalisé, les scores moyens augmentent à mesure que l'âge des participants augmente. Pour chacune des tranches d'âges, il apparaît que les scores moyens sont plus élevés pour les exercices de navigation par « reproduction » que pour les exercices de navigation par « décentration ». Ainsi, à l'âge de 6-7 ans, le SM des exercices de « reproduction » s'élève à 3,85% alors qu'il n'est que de 1,75% pour les exercices de « décentration ». À 8-9 ans, le SM « reproduction » est de 22,09% et de 2,34% pour les exercices de « décentration ». À 10-11 ans, le SM « reproduction » est de 27,77% et de 9,1% en « décentration ». À 12-13 ans, le SM « reproduction » s'élève à 32,77% alors qu'il n'est que de 13,39% en « décentration ». À 14-15 ans, le SM « reproduction » dépasse les 30 % (46,14%) pour les exercices de « reproduction » et reste en dessous des 20 % (16,07%) pour les exercices de « décentration ». Enfin, à 14-15 ans, le SM avoisine les 50 % (46,14%) pour les exercices de « reproduction » alors qu'il est en dessous de la barre des 20 % (16,07%) en ce qui concerne les exercices de « décentration ».

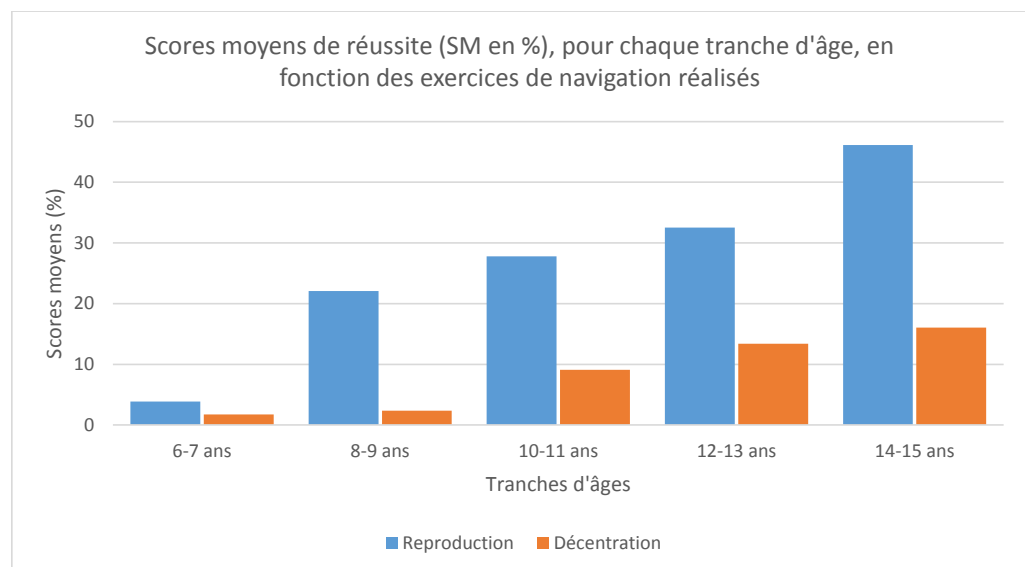


Figure 8.10 – Statistiques descriptives – Scores moyens des groupes ayant réalisé les exercices de navigation par « reproduction » ou par « décentration » (par tranches d'âge)

➤ *Analyses inférentielles*

Si la lecture du précédent graphique a permis de constater l'existence de différences de scores moyens pour chaque tranche d'âge en fonction des exercices de navigation effectués, on peut se demander si ces différences de scores moyens sont ou non significatifs. Comme pour l'analyse inférentielle précédente, le test de Kolmogorov-Smirnov calculé révèle que les données ne sont pas normalement distribuées ; c'est donc la statistique non-paramétrique de Mann-Whitney qui est utilisée dans le Tableau 8.21.

Tableau 8.21 – Statistiques inférentielles - Comparaison des scores moyens pour les exercices de « reproduction » et « décentration »

	Scores moyens pour les exercices de « reproduction »	Scores moyens pour les exercices de « décentration »	Mann-Whitney (M.-W.)	<i>p</i> (deux issues)
6-7 ans	3,850	1,750	204,00	.269
8-9 ans	22,09	2,34	48,50	.000
10-11 ans	27,77	9,1	111,50	.001
12-13 ans	32,52	13,39	99,000	.000
14-15 ans	46,14	16,07	63,500	.000

Pour rappel, la statistique de Mann-Whitney pose l'hypothèse nulle qu'il n'existe pas de différence entre les scores moyens des groupes considérés. Etant donné les résultats présentés dans la section précédente, on postule qu'il existe, pour chacune des tranches d'âge, des différences de performances en termes de scores moyens en faveur des groupes qui ont réalisés les exercices de « reproduction ». Les résultats de la statistique Mann-Whitney, proposés dans le Tableau 8.21, informent d'un effet non-significatif et de plusieurs effets significatifs. Concernant la tranche d'âge 6-7 ans, aucun effet significatif n'a été mis en évidence (M.-W. = 204,00 ; $p = .269$). On remarque donc qu'il n'existe pas de différences de scores moyens entre les exercices « reproduction » et « décentration » pour la tranche d'âge 6-7 ans (faiblesse des SM). Pour les autres tranches d'âges (8-9 ans, 10-11 ans, 12-13 ans et 14-15 ans), des différences de scores moyens significatives ont été trouvées (8-9 ans : M.-W. = 48,50 ; $p = .000$; 10-11 ans : M.-W. = 111,50 ; $p = .001$; 12-13 ans : M.-W. = 99,000 ; $p = .000$ et 14-15 ans : M.-W. = 63,500 ; $p = .000$). Pour ces quatre tranches d'âges, on peut donc affirmer qu'il existe des différences de scores moyens significatives entre les deux groupes constitués et que ces différences sont en faveur du groupe « reproduction ».

3.4 Synthèse des résultats

Le tableau suivant (Tableau 8.22) synthétise les résultats concernant la comparaison des deux premières expérimentations réalisées.

Tableau 8.22 – Synthèse des résultats portant sur la comparaison des exercices de navigation proposés

H.3.	Les exercices de navigation par « reproduction » sont moins complexes et donc mieux réussis par les participants que les exercices de navigation par « décentration »	Confirmée	<p>Pour toutes tranches d'âge confondues, il apparaît que les exercices de navigation par « reproduction » sont mieux réussis que les exercices de navigation par « décentration » ($M.-W. = 3118,0$; p unilatérale = .000).</p> <p>Par le biais de la statistique descriptive, on constate également que les exercices de navigation par « reproduction » sont mieux réussis quelles que soient les tranches d'âge considérées. Ces résultats sont confirmés par la statistique inférentielle (excepté pour la tranche d'âge 6-7 ans).</p>
------	---	-----------	--

4. Expérimentation 3 : Impact du changement de pourcentage de la coloration du bâti

4.1 Question de recherche

La question de recherche principale, qui est ici posée, est la suivante :

Q.4. Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les pourcentages de réussite des participants, aux exercices de navigation par « reproduction »?

Après avoir comparé la complexité de deux exercices de navigation (exercices de navigation par « reproduction » et « décentration »), on s'intéresse ici à l'influence du changement de pourcentages de coloration du bâti (points de repères) présentés dans V-Squarecity. Seuls les parcours de navigation par « reproduction » sont réalisés. Trois sous-questions sont posées :

- Le pourcentage de réussite dépend-t-il du pourcentage de coloration du bâti de la ville dans laquelle sont effectués les parcours de « reproduction »? (S-Q.4.1.)
- Existe-t-il des différences de pourcentages de réussite en fonction du pourcentage de coloration du bâti pour chacun des parcours ? (S-Q.4.2.)
- Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les performances, en termes de pourcentages de réussite ? (S-Q.4.3.)

4.2 Description des exercices de navigation demandés

Pour cette expérimentation, les participants étaient amenés à reproduire des parcours (exercices de navigation par « reproduction ») dans V-Squarecity. Contrairement aux expérimentations précédentes lors desquelles le pourcentage de coloration du bâti des villes était fixé à 25%, il est ici question de proposer aux participants de reproduire des parcours dans des villes caractérisées par un pourcentage de coloration du bâti différent. Trois villes présentant un pourcentage de coloration différent du bâti ont donc été générées. Très concrètement, cela signifie que 25%, 40% ou 90% des bâtiments présents dans V-Squarecity sont de couleur rouge, bleue, verte, jaune, bleue turquoise ou magenta. Le placement de ces bâtiments colorés, qui peuvent ou non, servir de points de repères a été déterminé de manière aléatoire.

L'expérimentation est menée en deux temps. Dans un premier temps, les participants effectuent une première série de parcours (5 parcours) dans une ville caractérisée par un certain pourcentage de coloration (soit 25%, 40% ou 90% de coloration). Dans un second temps, ces mêmes participants réalisent une deuxième série de parcours (5 parcours définis par des nombres de PD et de PI identiques que les 5 premiers parcours, de façon à ce que seule la forme du parcours ne change) dans une ville caractérisée par un pourcentage de coloration différent (soit 25%, 40% ou 90% de coloration). Le Tableau 8.23 illustre l'expérimentation menée. Celle-ci porte sur 5 paires de parcours. Ces 5x2 parcours sont définis par un nPD et un nPI : le parcours 5_2 ; le parcours 13_2 ; le parcours 7_4 ; le parcours 13_4 et le parcours 7_2. Pour chacun des groupes de participants (6x15 participants), la première série de parcours s'effectue donc dans une ville, caractérisée par un pourcentage de coloration du bâti (% de la première série de parcours) différent de la deuxième série de parcours (% de la deuxième série de parcours).

Tableau 8.23 – Parcours de navigation par « reproduction » proposés lors de la troisième expérimentation

	Première série de parcours					Deuxième série de parcours				
	Parcours 5_2	Parcours 13_2	Parcours 7_4	Parcours 13_4	Parcours 7_2	Parcours 13_2	Parcours 5_2	Parcours 13_4	Parcours 7_4	Parcours 7_2
N = 15	25%	25%	25%	25%	25%	40%	40%	40%	40%	40%
N = 15	25%	25%	25%	25%	25%	90%	90%	90%	90%	90%
N = 15	40%	40%	40%	40%	40%	25%	25%	25%	25%	25%
N = 15	40%	40%	40%	40%	40%	90%	90%	90%	90%	90%
N = 15	90%	90%	90%	90%	90%	25%	25%	25%	25%	25%
N = 15	90%	90%	90%	90%	90%	40%	40%	40%	40%	40%

Comme pour les expérimentations précédentes, l'ordre de passage des parcours a été déterminé de façon aléatoire pour chacune des séries de parcours et tous les participants ont effectué ces parcours dans le même ordre.

4.3 Echantillon & présentation des données utilisées

La partie « Résultats » de cette troisième expérimentation porte sur les données recueillies auprès de 90 participants, âgés entre 10 et 12 ans. Les mêmes critères d'éviction, que ceux utilisés lors des précédentes expérimentations, ont été appliqués. Sont ici repris, la même procédure ainsi que le même protocole de recueil de données que lors des expérimentations antérieures. Concrètement, les participants doivent effectuer dix exercices de navigation par « reproduction » (5x2 parcours définis par le même nPD et le même nPI). La mesure des performances des participants est déterminée par la reproduction parfaitement réussie des parcours. Cette réussite parfaite est conditionnée par le fait que le participant atteint le point d'arrivée en passant par les mêmes points de décision que lors du suivi de balises. Les résultats, présentés dans la section suivante, portent sur des pourcentages de réussite (en %). Ceux-ci sont utilisés dans les calculs de χ^2 .

4.4 Résultats de l'expérimentation

4.4.1 S-Q.4.1. Le pourcentage de réussite dépend-t-il du pourcentage de coloration du bâti de la ville dans laquelle est effectuée les parcours de « reproduction »? (tous parcours (nPD_nPI) et toutes séries de parcours (première et deuxième séries) confondus)

➤ Analyses descriptives

Avant de s'intéresser au changement de pourcentages de coloration du bâti et à son éventuel influence sur les pourcentages de réussite des participants, il a, tout d'abord, semblé opportun de savoir s'il existe, indépendamment des séries et des parcours réalisés, des différences de pourcentages de réussite en fonction du pourcentage de coloration du bâti de la ville.

Le graphique suivant (Figure 8.11) présente les pourcentages de réussite de l'ensemble des participants (N=90) pour toutes séries de parcours et tous parcours confondus. Il apparaît que les participants réussissent davantage les parcours demandés lorsque ceux-ci sont réalisés dans la ville caractérisée par 40% de coloration du bâti (44% de réussite). Le pourcentage de réussite des parcours réalisés dans la ville où le bâti est coloré à 25% est meilleur (28,3% de réussite) que lorsque les parcours doivent être reproduits dans une ville colorée à 90% (16,3% de réussite).

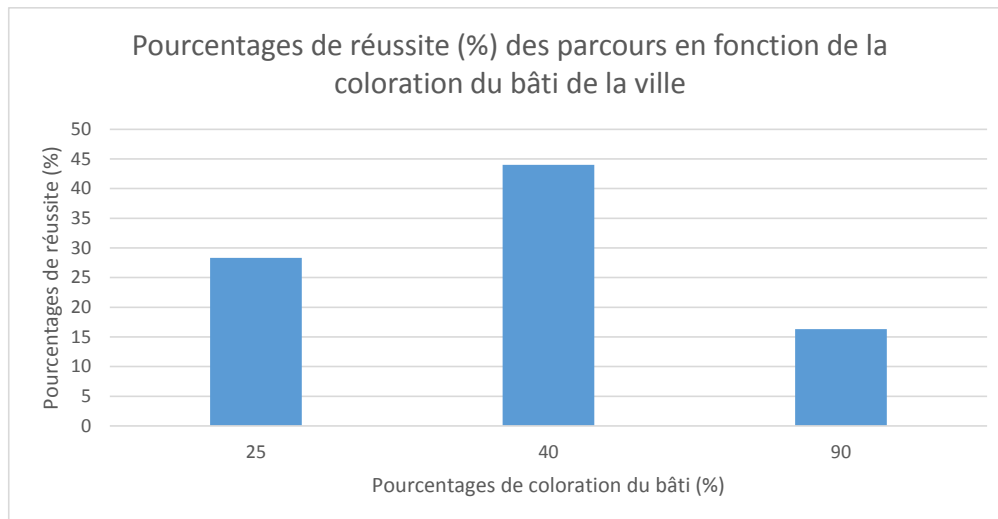


Figure 8.11 – Statistiques descriptives – Pourcentages de réussite (en %) des parcours en fonction de la coloration du bâti de la ville

➤ *Analyses inférentielles*

La lecture de la Figure 8.11 a permis de remarquer des différences de pourcentages de réussite entre les pourcentages de coloration du bâti dans V-Squarecity. On cherche à présent à savoir si ces différences de pourcentages sont ou non significatives. Le χ^2 calculé permet d'affirmer que le pourcentage de réussite dépend du pourcentage de coloration du bâti ($\chi^2 = 55,470$; $p = .000$).

4.4.2 S-Q.4.2. Existe-t-il des différences de pourcentages de réussite en fonction du pourcentage de coloration du bâti pour chacun des parcours ? (par parcours)

Suite à la mise en évidence de l'influence du pourcentage de coloration du bâti sur les pourcentages de réussite des parcours par les participants, on s'interroge à présent sur les parcours réalisés (5 parcours définis par un nPD et un nPI). Les différences observées globalement, pour l'ensemble des parcours, peuvent-elles être retrouvées pour chacun des parcours demandés ?

Sur la Figure 8.12, sont présentés les pourcentages de réussite pour chacun des parcours effectués dans des villes colorées à 25%, 40% et 90%. On remarque que, quel que soit le parcours réalisé, les pourcentages de réussite sont plus importants lorsque la navigation s'effectue dans la ville où 40% du bâti est coloré. Systématiquement, peu importe le parcours, on remarque que les pourcentages de réussite sont les plus faibles quand il s'agit de reproduire un chemin dans une ville colorée à 90%. Le parcours 5_2 est le parcours le mieux réussi (63,3% de réussite dans la ville colorée à 40% ; 55% de réussite dans la ville colorée à 25% et 28,3% de réussite dans la ville colorée à 90%). Le deuxième parcours à avoir été réussi, de façon plus importante, est le parcours 7_2 (53,3% de réussite dans la ville colorée à 40% ; 30% de réussite dans la ville colorée à 25% et 23,3% dans la ville présentant une coloration de bâti de 90%). Le graphique permet de remarquer que le parcours 13_2 est davantage réussi que les parcours comportant quatre points d'inflexion (7_4 et 13_4).

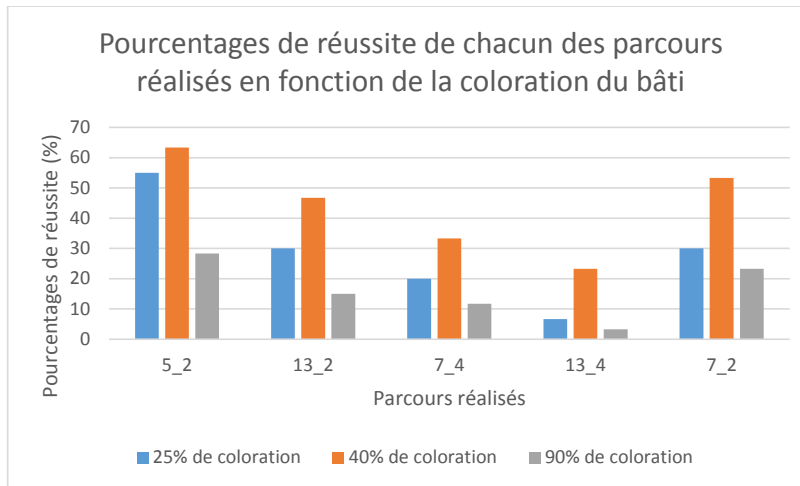


Figure 8.12 – Statistiques descriptives – Pourcentages de réussite (en %) de chacun des parcours réalisés en fonction de la coloration du bâti de la ville

➤ *Analyses inférentielles*

Alors que des différences de pourcentages de réussite, en fonction du pourcentage de coloration du bâti pour chacun des parcours, ont pu être remarquées sur le graphique précédent, on cherche ici à savoir si ces différences sont significatives. Le Tableau 8.24 reprend l'ensemble des χ^2 calculés. Ces derniers sont significatifs, ce qui signifie que des différences significatives de pourcentages de réussite apparaissent pour chaque parcours considéré.

Tableau 8.24 – Statistiques inférentielles relatives aux pourcentages de réussite en fonction de la coloration du bâti pour chacun des parcours réalisés

% de réussite*% de coloration	χ^2	<i>p</i>
5_2	16,052	.000
13_2	14,191	.001
7_4	8,445	.015
13_4	13,950	.001
7_2	12,996	.002

4.4.3 S-Q.4.3. Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les performances, en termes de pourcentages de réussite ? (en fonction de la série de parcours)

➤ *Analyses descriptives*

Dans les analyses précédentes, il a été montré que le pourcentage de coloration du bâti influence le pourcentage de réussite (%) dans la reproduction de parcours. On cherche à présent à savoir si le changement de pourcentages de coloration du bâti influence les pourcentages de réussite. Ainsi, on se demande s'il existe des différences de performances, en termes de pourcentages de réussite, entre les parcours réalisés lors de la première série et ceux réalisés lors de la deuxième série. Sur le graphique, proposé à la Figure 8.13, sont présentés les pourcentages de réussite des parcours réalisés en fonction de la série dont ils sont issus (première série ou deuxième série). Le pourcentage de coloration du bâti, défini lors de la première série de parcours, est toujours présenté avant le pourcentage de coloration du bâti, défini lors de la deuxième série de parcours. Ainsi, par 25-40, il faut comprendre que les cinq premiers parcours présentés étaient à reproduire dans une ville colorée à 25% alors que les cinq parcours suivants étaient à reproduire dans une ville colorée à 40%. La lecture du graphique permet de tirer plusieurs enseignements. En ce qui concerne la série 25-40, il apparaît que les parcours réalisés dans une ville colorée à 40% sont mieux réussis (45,3%) que ceux réalisés dans une ville colorée à 25% (35,3% de réussite). Pour ce qui est de la série 25-90, le constat est inverse. En effet, on remarque que les parcours effectués dans la ville colorée à 25% sont mieux réussis (32% de réussite) que les parcours effectués dans la ville, présentant une coloration de bâti de 90% (13,3%). Concernant la série 40-25, il apparaît que les parcours sont près de deux fois mieux réussis dans la ville présentant un pourcentage de bâti coloré de 40% (44% de réussite) que dans la ville présentant un pourcentage de bâti coloré de 25% (24%). Un constat similaire et plus marqué peut être fait pour les séries 40-90 (41,3% de réussite pour les parcours effectués dans la ville colorée à 40% et 8% de réussite pour les parcours effectués dans la ville colorée à 90%). En ce qui concerne les séries 90-25 et 90-40, on remarque que les parcours sont moins réussis lorsqu'ils sont réalisés dans une ville comportant un pourcentage important de coloration.

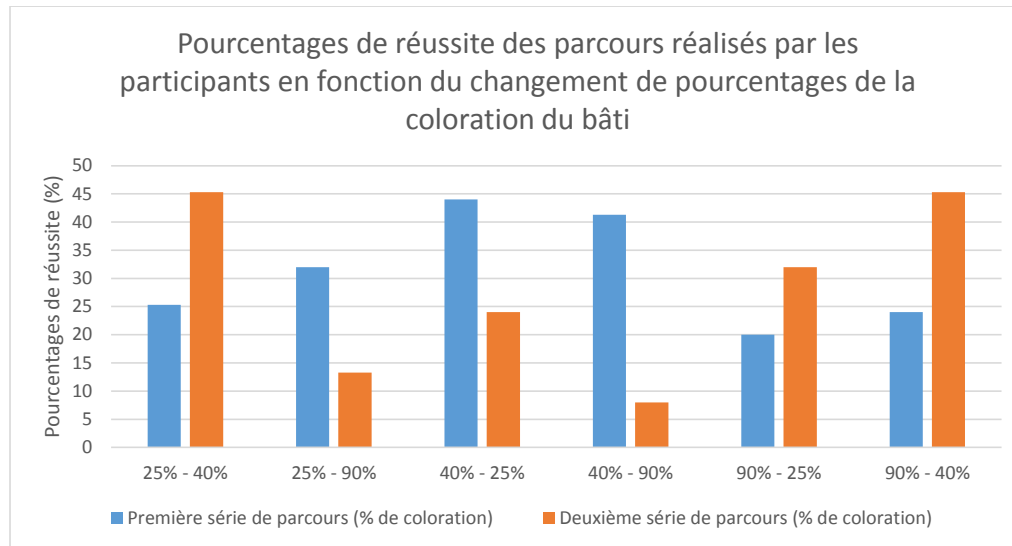


Figure 8.13 – Statistiques descriptives – Pourcentages de réussite des parcours réalisés en fonction du changement de coloration du bâti de la ville

➤ *Analyses inférentielles*

Après avoir mis en évidence des différences de pourcentages de réussite entre la première série et la deuxième série de parcours, on cherche à savoir si ces différences sont confirmées du point de vue de la statistique inférentielle. Exception faite de la série 90-25, les χ^2 calculés permettent d'affirmer que les différences existantes entre les pourcentages de réussite de chacune des séries de parcours sont significatives (Tableau 8.25).

Tableau 8.25 – Statistiques inférentielles relatives aux pourcentages de réussite en fonction du changement de la coloration du bâti

% de réussite*% de coloration	χ^2	<i>p</i>
25% de coloration → 40% de coloration	6,565	.010
25% de coloration → 90% de coloration	7,454	.006
40% de coloration → 25% de coloration	6,684	.010
40% de coloration → 90% de coloration	22,423	.000
90% de coloration → 25% de coloration	2,807	.094
90% de coloration → 40% de coloration	7,535	.006

4.5 Synthèse des résultats de l'expérimentation 3

Le tableau suivant (Tableau 8.26) synthétise les résultats concernant la troisième expérimentation réalisée.

Tableau 8.26 – Synthèse des résultats portant sur la troisième expérimentation

S-Q.4.1.	Le pourcentage de réussite dépend-t-il du pourcentage de coloration du bâti de la ville dans laquelle sont effectués les parcours de reproduction?	Oui	La statistique permet d'affirmer le fait que le pourcentage de réussite dépend du pourcentage de coloration du bâti ($\chi^2 = 55,470$; $p = .000$). Lorsque les parcours sont à effectuer dans une ville colorée à 40%, les performances, en termes de pourcentage de réussite, sont les plus importantes. Les participants éprouvent davantage de difficultés à reproduire les parcours demandés lorsqu'ils naviguent dans une ville colorée à 90%.
S-Q.4.2.	Existe-t-il des différences de pourcentages de réussite en fonction du pourcentage de coloration du bâti pour chacun des parcours ?	Oui	Des différences significatives de pourcentages de réussite apparaissent pour chaque parcours considéré ($\chi^2 = 16,052$; $p = .000$ pour le parcours 5_2 ; $\chi^2 = 14,191$; $p = .001$ pour le parcours 13_2 ; $\chi^2 = 8,445$; $p = .015$ pour le parcours 7_4 ; $\chi^2 = 13,950$; $p = .001$ pour le parcours 13_4 ; $\chi^2 = 12,996$; $p = .002$ pour le parcours 7_2).
S-Q.4.3.	Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les performances, en termes de pourcentages de réussite ?	Globalement, oui	À l'exception de la série 90-25, les χ^2 calculés permettent d'affirmer que les différences existantes entre les pourcentages de réussite de chacune des séries de parcours sont significatives.

5. Expérimentation 4 : Utilisation combinée de V-Squarecity et de V-Sinuosity

5.1 Question de recherche

Jusqu'à présent, c'est une ville définie selon un plan régulier (hippodaméen) qui a été utilisée (V-Squarecity). Dans le cadre de cette troisième expérimentation, une ville définie selon un plan irrégulier est mise à l'épreuve (V-Sinuosity). On s'interroge ici sur l'influence de la structuration des environnements virtuels utilisés. Ainsi, la question posée est :

- Dans quelle ville les exercices de navigation par « reproduction » sont-ils mieux réussis, par les participants âgés de 10 à 12 ans ? (Q.5.)

5.2 Description des exercices demandés

Comme pour les expérimentations précédentes, les participants étaient amenés à reproduire des parcours (exercices de navigation par « reproduction »), cette fois-ci dans deux villes virtuelles distinctes (V-Squarecity et V-Sinuosity). Parmi les quatorze parcours proposés, deux sont réalisés dans V-Sinuosity. Il s'agit des parcours avec 5 points de décision et 2 points d'inflexion (parcours 8) et 9 points de décision et 4 points d'inflexion (parcours 11). Des parcours, possédant les mêmes caractéristiques, ont également été réalisés dans la ville américaine afin de pouvoir comparer les résultats (parcours 13 et parcours 7) (Tableau 8.27). Le même pourcentage de coloration du bâti (25% de coloration du bâti) a été utilisé dans les deux villes. L'ordre de passage des parcours a été déterminé de façon aléatoire et tous les participants ont effectué les quatorze parcours dans le même ordre (de 1 à 14).

**Tableau 8.27 - Parcours de « reproduction » réalisés dans V-Squarecity ou V-Sinuosity
l'expérimentation 3**

Parcours de reproduction (par ordre de passage)	nPD	nPI	Villes (V-Squarecity/V-Sinuosity)
Parcours 1	5	2	V-Squarecity
Parcours 2	13	2	V-Squarecity
Parcours 3	7	4	V-Squarecity
Parcours 4	13	4	V-Squarecity
Parcours 5	7	2	V-Squarecity
Parcours 6	13	2	V-Squarecity
Parcours 7	9	4	V-Squarecity
Parcours 8	5	2	V-Sinuosity
Parcours 9	13	4	V-Squarecity
Parcours 10	7	4	V-Squarecity
Parcours 11	9	4	V-Sinuosity
Parcours 12	13	4	V-Squarecity
Parcours 13	7	2	V-Squarecity
Parcours 14	5	2	V-Squarecity

5.3 Echantillon & présentation des données utilisées

La partie « Résultats », de la présente expérimentation, porte sur les données recueillies auprès de 30 participants, âgés entre 10 et 12 ans. Les mêmes critères d'éviction que ceux utilisés lors des deux premières expérimentations ont été appliqués.

La même procédure que celle décrite pour l'expérimentation 1 a été mise en œuvre. Le même protocole de recueil de données a été utilisé. Ainsi, l'indicateur utilisé pour mesurer les performances des participants est la reproduction réussie des parcours. Cette réussite est conditionnée par le fait que le participant atteint le point d'arrivée en passant par les mêmes points de décision que lors du suivi de balises. Les résultats présentés dans la section suivante portent sur les pourcentages de réussite (en %) pour les deux paires de parcours précédemment décrites. Ces pourcentages de réussite sont utilisés dans les calculs de χ^2 .

5.4 Résultats de l'expérimentation

➤ Analyses descriptives

Sur la Figure 8.14, est présentée la comparaison des pourcentages de réussite des deux parcours réalisés dans V-Squarecity et V-Sinuosity. Il apparaît que les pourcentages de réussite des participants sont meilleurs dans V-Sinuosity que dans V-Squarecity

pour les deux parcours. Concernant le parcours « 5_2 », on peut en effet remarquer que les pourcentages de réussite sont de 86,7% dans V-Sinuositycity et de 60% V-Squarecity. Concernant le parcours « 9_4 », les pourcentages de réussite restent faibles pour les deux villes même si celui de l'environnement irrégulier (V-Sinuositycity) est supérieur (23,3% contre 10% pour V-Squarecity).

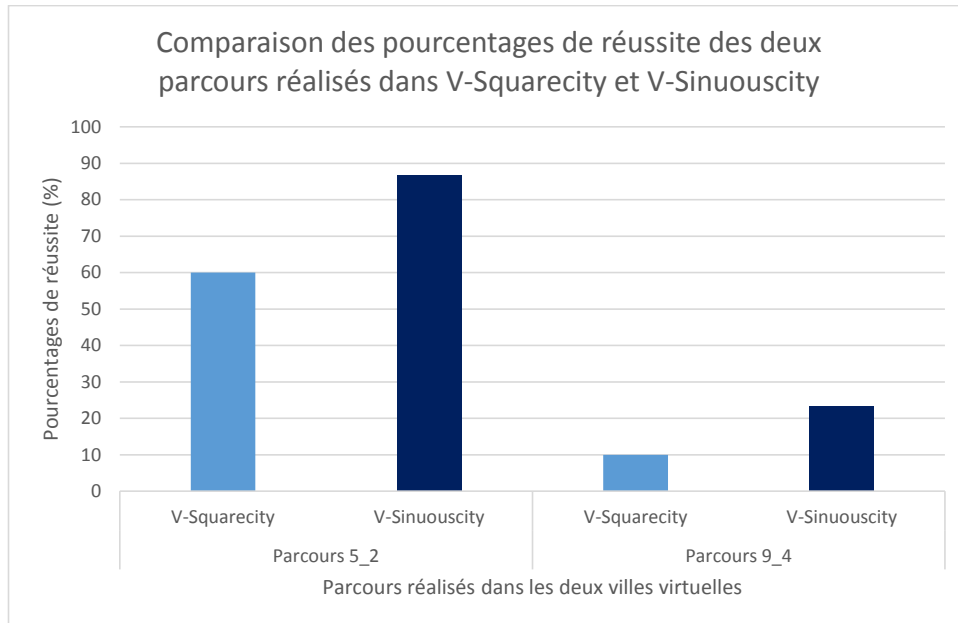


Figure 8.14 – Statistiques descriptives – Pourcentages de réussite (en %) des deux parcours réalisés dans les deux villes

➤ *Analyses inférentielles*

Les différences de pourcentages de réussite mises en évidence sur le graphique précédent, pour le parcours « 5_2 », sont considérées comme étant significatives ($\chi^2 = 5,455$; $p = .020$). Par contre, les différences de pourcentages de réussite pour le parcours « 9_4 » n'ont pas été confirmées comme étant significativement différentes ($\chi^2 = 1,920$; $p = .166$).

5.5 Synthèse des résultats de l'expérimentation 4

Le tableau suivant (Tableau 8.28) synthétise les résultats obtenus relatifs à la quatrième expérimentation.

Tableau 8.28 – Synthèse des résultats de la quatrième expérimentation

Q.5.	Dans quelle ville les exercices de navigation par « reproduction » sont-ils mieux réussis par les participants âgés de 10 à 12 ans ?	V-Sinuosity	Par le biais de la statistique descriptive, des différences de pourcentages de réussite ont pu être mises en évidence en faveur de V-Sinuosity pour les deux parcours réalisés. Seule la différence de pourcentages de réussite pour le parcours 5_2 a cependant été confirmée du point de vue de la statistique inférentielle ($\chi^2 = 5,455$; $p = .020$).
------	--	-------------	---

6. Discussions du chapitre 8

L'objectif principal de ce chapitre était de s'interroger sur la construction des modèles spatiaux d'itinéraires chez l'enfant et l'adolescent et d'identifier quelques-uns des paramètres qui accroissent la complexité des tâches de navigation, aussi bien en termes d'exercices à réaliser qu'en termes d'environnements dans lesquels ces exercices sont réalisés. Aussi, un intérêt était porté à l'évolution des performances de navigation en fonction de l'âge.

Dans le but de déterminer quels sont ces paramètres, quatre expérimentations ont été menées en ayant recours à la réalité virtuelle. L'utilisation de cette technologie, basée sur la simulation informatique, permet d'explorer, de façon simultanée, les dimensions comportementales, cognitives et motrices d'un individu (Klinger, 2008). La majeure partie des actions effectuées par le sujet peut ainsi être quantifiée de manière simultanée, précise et naturelle, sans que le sujet n'en ait conscience (Kelly & Gibson, 2007). Ainsi, dans de nombreux domaines, l'emploi d'environnements virtuels comme simulateur a montré son efficacité et son potentiel dans l'apprentissage de compétences diverses et dans l'analyse du fonctionnement cognitif et comportemental de l'individu (Klinger, Marie & Fuchs, 2006). En cognition spatiale, cette technologie est utilisée depuis plusieurs années (i.e. Jansen-Osmann & Heil, 2007a ; Jansen-Osmann, Schmid & Heil, 2007a ; Mengue-Topio, 2011 ; Farran, Courbois, Van Herwegen, Cruickshank & Blades, 2012 ; Wallet, Sauzéon, Larrue & N'Kaoua, 2013) en raison des nombreux

avantages que son utilisation procure lors de la mise en place d'expérimentations, de la réplication sur un grand nombre de sujets et du recueil de données, notamment (Peters, Wu & Winter, 2010). Si, à l'heure actuelle, il est tout à fait concevable de générer des villes à l'apparence réaliste ou de fidèles reproductions d'environnements existants (Meilinger, 2008 ; Wallet et al., 2008 ; Wallet et al., 2009 ; Gras, Daniel, Labiale, Piolino, Gyselinck, 2012), il convient toutefois de souligner le fait que les possibilités croissantes de création de villes virtuelles peuvent induire certaines limites. En effet, les environnements virtuels utilisés pour les expérimentations sont de plus en plus complexes ; et cela, plus qu'ils n'y paraissent (variété du bâti, multiplication des points de repères, etc.). Ceci peut rendre difficile l'interprétation des résultats, d'autant plus que les performances des individus dépendent des caractéristiques des environnements dans lesquels sont proposées les activités (Nys et al., 2015). Dans le cadre des expérimentations menées, le choix a été fait d'utiliser des environnements virtuels simplifiés afin de réduire et de contrôler le nombre de variables présentées dans l'environnement. En effet, si la réalité virtuelle permet, comme cela vient d'être dit, de simuler un environnement réel, elle permet également la présentation, dans un contexte défini, de stimuli sélectionnés (Burdea & Coiffet, 1993 ; Fuchs & Moreau, 2003). Ainsi, par son caractère modulable, elle permet la création d'environnements plus ou moins enrichis de stimuli de formes variées. Les environnements virtuels, qui ont été définis pour les expérimentations menées, prenaient ainsi l'allure de villes dans lesquelles l'ensemble des éléments du bâti pouvait être modifié, tant d'un point de vue quantitatif (pourcentage de coloration du bâti, hauteur du bâti...) que d'un point de vue qualitatif (choix des couleurs et du type de bâti utilisés). Ceci a permis l'identification de paramètres précis qui déterminent le niveau de complexité des exercices de navigation proposés.

Bien que la réalité virtuelle s'avère être un outil utile pour la création d'environnements, plusieurs tâches permettant d'évaluer les connaissances environnementales d'un individu peuvent être utilisées. Les techniques les plus fréquemment employées sont : le dessin d'une « carte cognitive » (Jansen-Osmann, Schmid & Heil, 2007c ; Wallet, Sauzéon, Larrue & N'Kaoua, 2013), l'estimation de distances (Jansen-Osmann, Schmid & Heil, 2007a ; 2007c), la production de modèles réduits ou de maquettes (Ramadier & Depeau, 2010), la reconnaissance de scènes visuelles (Gras, Daniel, Labiale, Piolino, Gyselinck, 2012), le pointage vers une direction ou un lieu connu (Frankenstein, Meilinger, Mohler & Bühlhoff, 2009 ; Burte & Hegarty, 2013) ou encore la reproduction d'itinéraires (Gaunet, Vidal, Kemeni & Berthoz, 2001 ; Lambrey & Berthoz, 2003 ;

Mengue-Topio, 2011 ; Davis, Merrill, Connors & Roskos 2014). L'évaluation des compétences spatiales de navigation, telle qu'envisagée ici, a reposé sur l'utilisation de cette dernière technique. Ainsi, il a été demandé aux participants de reproduire des itinéraires dans des villes virtuelles (Cherni, 2012). Contrairement à d'autres études réalisées (i.e. Lambrey & Berthoz, 2003), l'objectif n'était pas d'évaluer les capacités proprioceptives et motrices des participants. Ainsi, la perception multi-sensorielle avec l'environnement a été initialement et volontairement réduite à des interfaces visuelle et uni-manuelle (individu placé devant un écran et interagissant avec l'environnement virtuel uniquement par l'intermédiaire d'un joystick) afin de faire émerger des stratégies cognitives de navigation spatiale dans une perspective développementale. En outre, chacun des parcours qu'il fallait reproduire était réalisé dans des parties différentes de la ville. Si l'on considère un environnement comme familier lorsque le temps d'exposition est important et lorsque l'exploration active permet aux sujets de prendre connaissance de façon plus importante de l'environnement (Golledge & Spector, 1978), les exercices de navigation ici proposés ont tous été effectués dans des environnements inconnus, non-familiers.

Les deux premières expérimentations menées avaient pour but d'identifier certains paramètres qui augmentent la complexité intrinsèque des exercices de navigation par « reproduction » et par « décentration » dans V-Squarecity, un environnement défini sur la base d'un plan régulier.

Deux des paramètres identifiés comme étant susceptibles d'influencer le niveau de complexité des exercices demandés concernent le nombre de points de décision (Klippel, Tappe & Habel, 2003 ; Quesnot & Roche, 2015) et le nombre de points d'inflexion (Smith, 2015 ; Richter & Klippel, 2007).

Alors que les points de décision et/ou les points d'inflexion permettent de standardiser la définition des parcours ou itinéraires réalisés par les sujets dans les environnements utilisés, les études qui portent sur leur utilisation concernent davantage l'estimation de distances que la reproduction d'itinéraires (Lee, 1964 ; Sadalla & Staplin, 1980 ; Okabe, Aoki & Hamamoto, 1986 ; Stone & McBeath 2010). Il apparaît alors que le choix du nombre de points de décision et/ou du nombre de points d'inflexion est largement laissé au hasard ou à l'appréciation des chercheurs, lorsque ceux-ci sont amenés à définir leurs expérimentations. Ainsi, par exemple, dans la littérature, on peut relever que des trajets, comportant 12 points de décision et 10 points d'inflexion, sont considérés comme simples et que des trajets, comportant 18 points de décision et 18 points d'inflexion,

sont considérés comme complexes pour des sujets âgés de 20 ans (Wallet et al., 2008 ; Wallet et al., 2009 ; Wallet et al. 2011). Dans une autre étude menée avec des adultes (Boumenir, Georges, Valentin, Rebillard, & Dresch-Langley, 2010), les itinéraires comprenant un point d'inflexion sont considérés comme étant simples tandis que les itinéraires comprenant 6 points d'inflexion sont considérés comme étant complexes. Face à cette diversité de considérations, il semblait opportun de s'intéresser à la complexité des parcours proposés, en termes de nombre de points de décision et de nombre de points d'inflexion. On a donc cherché à déterminer si la longueur du parcours influençait les performances des participants âgés de 6 à 15 ans. Dans un même temps, on a voulu savoir si le nombre de points d'inflexion influençait également les performances, en termes de pourcentages de réussite. Des deux premières expérimentations réalisées, il résulte que l'augmentation du nombre de points de décision constitue un paramètre de complexité pour la réalisation des deux exercices de navigation proposés. Ainsi, il apparaît que la longueur du parcours influence le pourcentage de réussite des exercices de navigation par « reproduction » et par « décentration ». Les parcours comprenant 5 points de décision sont systématiquement mieux réussis que les parcours de 7 points de décision ou ceux présentant une longueur supérieure. En ce qui concerne le nombre de points d'inflexion, il apparaît également que son augmentation fait chuter le pourcentage de réussite des deux exercices demandés. Les résultats de l'analyse du nombre de points d'inflexion comme variable permettent, en effet, de mettre en évidence qu'il s'agit d'un paramètre clé de réussite pour les exercices de reproduction. En dessous de deux changements de direction, les pourcentages de réussites sont élevés. À partir de 4 points d'inflexion et au-delà (5 points d'inflexion), le pourcentage de réussite chute, quel que soit l'âge des élèves. En outre, les résultats obtenus, pour les exercices de « reproduction », ont permis de remarquer l'influence prépondérante du nombre de points d'inflexion par rapport au nombre de points de décision. Ainsi, il apparaît que le paramètre qui complexifie le plus l'exercice est le nombre de points d'inflexion, de tournants. Ces résultats peuvent être rapprochés des explications fournies par Sadalla & Staplin (1980) après qu'ils aient remarqué que les sujets surestiment systématiquement la longueur des parcours lorsqu'ils comportent un plus grand nombre de points d'inflexion. Une des explications avancées pour expliquer ce phénomène est que le sujet parviendrait à « comprimer psychologiquement » les routes qui comportent plusieurs points de décision (routes de longueurs plus importantes). Les routes, comprenant un plus grand nombre de points de décision, subiraient plus de compressions et sembleraient ainsi plus courtes que les

routes comprenant davantage de points d'inflexion. Dans le même ordre d'idées, on peut penser que l'individu parviendrait à « comprimer psychologiquement » les longueurs pour ne considérer que les points d'inflexion des parcours, ce qui expliquerait la différence de résultats. Un retour sur ces considérations est réalisé dans la seconde partie de la discussion consacrée aux stratégies déclarées avoir été mobilisées pour la reproduction d'itinéraires. Une seconde explication avancée par les auteurs est que l'augmentation du nombre de tournants nécessite des mises à jour plus importantes du référentiel égocentré, ce qui complexifie la tâche des sujets. Cette seconde explication pourrait d'ailleurs être appuyée par le fait que les individus préfèrent les routes constituées de moins de tournants (Jansen-Osmann & Heil, 2007).

Enfin, les résultats obtenus, lors des deux premières expérimentations, permettent d'affirmer que l'exercice de navigation en lui-même constitue un paramètre de complexité. Chacune des expérimentations reposait sur la réalisation d'exercices de navigation distincts : les parcours de « reproduction » (reproduction du parcours $a \rightarrow b$) et les parcours de « décentration » (reproduction du parcours en sens inverse $b \rightarrow a$). Il a été confirmé que les exercices de reproduction sont moins complexes à réaliser que les parcours de décentration et ce, pour toutes les tranches d'âges, exception faite des participants âgés de 6-7 ans pour qui l'ensemble des parcours proposés est d'une difficulté trop importante.

Après avoir considéré la complexité intrinsèque des tâches de navigation en termes d'exercices (en s'intéressant notamment au nPD et au nPI), il est à présent question de discuter de la complexité des tâches de navigation demandées, en termes d'environnements dans lesquels les exercices ont été réalisés. Ainsi, la troisième expérimentation a spécifiquement porté sur le pourcentage de repères, présent dans l'environnement. Alors qu'un repère est un élément qui est remarqué et mémorisé en fonction de sa visibilité (Appleyard, 1969 ; Appleyard, 1970), Steck & Mallot (2000) distinguent deux types de repères : les repères proximaux (visibles à partir d'une zone limitée) et les repères distaux (visibles de loin). Cornell et al. (1989) ont montré qu'en fonction de leur âge, les enfants et adolescents n'utilisent pas le même type de repères pour retrouver un chemin. Les enfants plus jeunes ne se servent que des repères proximaux tandis que les plus âgés prennent également en considération les repères distaux. Dans le but de fournir à tous les participants les mêmes chances de reproduire les parcours ici demandés, seuls des repères proximaux ont été placés dans les villes. Ainsi, les repères présents dans l'environnement apparaissent sous la forme de bâtiments

colorés (bâtiments dont la couleur particulière ressort sur un fond plus uniforme, comme le préconise Golledge, 1999). Alors que les deux premières expérimentations étaient réalisées dans des environnements où le pourcentage de repères présent était fixé à 25%, la troisième expérimentation a été réalisée dans des environnements comportant des pourcentages de coloration de bâti différents (25%, 40% et 90%).

Un des objectifs poursuivis, lors de cette troisième expérimentation, était de savoir si le pourcentage de coloration du bâti (ici considéré comme des repères potentiels) peut influencer les performances, en termes de pourcentages de réussite, des élèves âgés de 10 à 12 ans. En d'autres termes, on se demande si le pourcentage de repères peut constituer un des paramètres qui augmente ou diminue la complexité des exercices demandés. Il apparaît que le pourcentage de réussite des exercices dépend du pourcentage de coloration du bâti de la ville. L'ensemble des parcours réalisés dans une ville présentant un pourcentage de coloration de 40% est mieux réussi que les parcours qui sont réalisés dans une ville colorée à 25% ou à 90%. Alors que Lingwood, Blades, Farran, Courbois & Matthews (2015) ont montré que les points de repères sont des éléments cruciaux pour l'apprentissage des itinéraires dans un environnement régulier, on peut ici, compte-tenu des résultats des expérimentations réalisées, préciser leurs propos en affirmant que le pourcentage de repères présents dans l'environnement constitue également un paramètre décisif dans la connaissance des itinéraires chez les enfants âgés de 10 à 12 ans. En outre, ces mêmes auteurs montrent que les enfants âgés de 6 ans et de 8 ans sont moins bons dans l'apprentissage de routes quand l'environnement ne contient pas de repères. Jansen-Osmann et Fuchs (2006) qui ont mené une étude similaire avec des enfants âgés de 7-8 ans et 11-12 ans ainsi qu'avec des adultes en viennent aux mêmes conclusions. Si les expérimentations réalisées ici n'ont pas été effectuées dans des villes ne comportant aucun repère, on remarque cependant que les performances des enfants sont plus élevées lorsque les parcours sont effectués dans des villes présentant 25% de repères que lorsque les parcours sont réalisés dans des villes présentant 90% de repères. Ainsi, pour reprendre l'adage d'Ackoff, il semble ici que « trop d'informations tue l'information ». Si des environnements ne comportant aucun repère rend plus difficile l'apprentissage d'itinéraires (Lingwood *et al.*, 2015), il apparaît également que trop de repères complexifie également l'exercice. Ainsi, la situation intermédiaire (40% de repères, ici) est celle qui permet à l'enfant de reproduire un chemin le plus efficacement.

Parallèlement à cela, une attention particulière a été portée au changement de pourcentage de coloration du bâti dans l'environnement et à son influence sur les performances des enfants. Celui-ci a permis de confirmer les résultats précédemment obtenus. Alors que cinq parcours étaient d'abord réalisés dans des villes présentant un certain pourcentage de coloration, cinq autres parcours, définis par le même nombre de points de décision et de points d'inflexion que les parcours précédents, ont été proposés dans des villes présentant un autre pourcentage de coloration. Il en résulte que les performances des enfants varient significativement en fonction du pourcentage de coloration du bâti présent dans toutes les séries (25% de coloration → 40% de coloration : ↗ des performances dans la seconde série ; 25% de coloration → 90% de coloration : ↘ des performances dans la seconde série ; 40% de coloration → 25% de coloration : ↘ des performances dans la seconde série ; 40% de coloration → 90% de coloration : ↘ des performances dans la seconde série ; 90% de coloration → 40% de coloration : ↗ des performances dans la seconde série) sauf pour la série 90% de coloration → 25% de coloration (où on remarque tout de même une ↗ des performances dans la seconde série). Les résultats obtenus permettent également d'apprécier le fait que la différence de performances la plus significative est remarquée pour la série 40% → 90%, soit entre les parcours réalisés dans la ville présentant un pourcentage de coloration du bâti idéal pour réaliser l'exercice (40%) et les parcours réalisés dans la ville trop fournie en repères.

Après s'être intéressé au pourcentage de points de repères présents dans l'environnement, un dernier paramètre a été pris en considération : celui de la structuration de la ville. Alors que la majorité des études portant sur l'influence de la structuration de l'espace évalue les performances des individus à partir de tâches de pointage (pointage d'une direction ou d'un repère non directement perceptible), de recherches de raccourcis ou d'estimations de distances (Herman, Blomquist & Klein, 1987 ; Jansen-Osmann & Heil, 2007 ; Jansen-Osmann, Schmid & Heil, 2007), on a ici cherché à évaluer l'influence de la structuration d'un espace sur les performances de reproduction d'itinéraires. Une des premières études portant sur la structuration d'un environnement a été menée par Herman *et al.* (1987). Si, dans un premier temps, les auteurs ont conclu qu'il n'existe pas d'influence de la structuration de l'environnement réel sur les performances de pointage des enfants, dans un second temps, ils ont reconnu le fait que leur environnement irrégulier n'était, en fin de compte, pas si différent de l'autre environnement utilisé (« grid environnement »). Une autre étude menée par Jansen-Osmann, Schmid & Heil (2007b), réalisée dans deux environnements virtuels

(l'un carré et l'autre circulaire) n'a pas non plus montré de différence de structuration dans les performances de pointage. L'explication de cette non-influence de la structuration de l'espace a été fournie par les auteurs qui considèrent que les enfants, en grandissant, deviennent capables de régulariser les traits irréguliers (c'est-à-dire, mentaliser des routes sinueuses comme droites) et que la connaissance spatiale devient, avec le temps, de plus en plus indépendante de la structure (Tversky, 2000). Cette explication permet alors de constater que les deux environnements utilisés étaient, en fin de compte, également identiques. Etant donné les résultats et conclusions auxquelles sont parvenus ces auteurs, il semblait nécessaire de prêter une attention particulière à la création des environnements utilisés pour effectuer la dernière expérimentation. Il fallait, en effet, que ceux-ci soient réellement distincts mais également comparables. Deux environnements ont alors été créés et expérimentés : V-Squarecity, un environnement régulier défini selon un plan hippodaméen (une route à droite, une route à gauche et une route devant) et V-Sinuosity, un environnement défini selon un plan irrégulier (plusieurs rues à droite et/ou plusieurs rues à gauche). Bien que différents, les parcours définis dans ces deux environnements comprenaient un même nombre de points de décision et un même nombre de points d'inflexion, ce qui rendait leur niveau de complexité comparable. Deux parcours ont été expérimentés dans chacun des deux environnements. L'un des parcours était considéré comme simple, tandis que l'autre était considéré comme plus compliqué. De l'expérimentation menée auprès d'enfants âgés de 10 à 12 ans, il résulte que la structuration de l'environnement influence les performances de réussite. Il apparaît en effet que les parcours réalisés dans V-Sinuosity sont réussis par un plus grand nombre d'enfants que les parcours réalisés dans V-Squarecity. Cependant, cette différence de performance n'a été confirmée par la statistique inférentielle que pour les parcours les plus simples uniquement. Il n'a, en effet, pas été relevée de différence significative entre les performances de réussite (% de parcours correctement reproduits) pour les parcours plus longs et comportant plus de virages. En rapprochant les résultats ici décrits des découvertes effectuées antérieurement, on remarque que ceux-ci sont en contradiction avec ceux de Montello (1991) qui a montré l'existence de l'influence de la structuration d'environnements réels sur les performances de pointage de cibles (repères non visibles) chez les jeunes adultes, en faveur des environnements réguliers. Ses résultats montrent, en effet, de meilleures performances lorsque l'exercice est demandé dans un environnement régulier, où les rues s'entrecroisent par des angles droits, comparé à l'exercice qui est réalisé dans un environnement où les rues sont présentées en oblique. L'auteur remarque alors que les

espaces constitués de rues en oblique engendrent une plus grande désorientation chez les individus. Une des explications, pouvant justifier cette différence de résultats, réside dans le fait que les deux exercices demandés sont différents, quoi que tous deux relatifs à la navigation spatiale. Alors que les exercices de reproduction d'itinéraires amènent l'enfant à effectuer des chemins déterminés de façon aléatoire en passant par une série de points de décision, le pointage de cibles dans un environnement régulier, par un adulte, peut s'avérer être plus évident que dans un environnement irrégulier, à condition que l'individu ait compris être dans un environnement orthonormé, euclidien.

Les résultats obtenus lors des deux premières expérimentations ont tout d'abord permis de remarquer que la reproduction d'itinéraires pose des difficultés à un nombre important de participants, et ce quel que soit leur âge. Ensuite, ils ont permis de mettre en évidence une augmentation des performances, en termes de scores moyens, en fonction de l'âge, pour les deux exercices de navigation proposés (exercices de reproduction et exercices de décentration). Si les résultats obtenus corroborent les résultats de Cohen & Schuepfer (1980), ceux de Cornell & Heth (2006) et ceux de Nys et al. (2015), ils entrent par contre en contradiction avec les découvertes réalisées par Jansen-Osmann & Wiedenbauer (2004). En effet, cette dernière étude n'a pas montré de différences entre les résultats des enfants âgés de 11 à 12 ans et les résultats d'individus plus âgés alors que les présents résultats montrent clairement une évolution des performances en fonction de l'âge. Les différences de résultats entre ces recherches peuvent être expliquées par les différences de techniques d'évaluation demandées mais surtout par les types de repères introduits dans les environnements utilisés. Alors que dans l'étude de Jansen-Osmann & Wiedenbauer (2004), les repères utilisés sont des animaux en peluche, dans la ville virtuelle ici utilisée et dans l'étude de Nys et al. (2015), les repères employés constituent des éléments d'un paysage urbain. En outre, l'augmentation progressive des performances en fonction des âges ainsi que les faibles pourcentages de réussite des enfants de 6-7 ans permettent d'affirmer le fait que la connaissance des itinéraires s'acquiert, au fur et à mesure, en fonction du développement psycho-cognitif des participants. Ainsi, il semble que les plus jeunes participants ne parviennent pas à accomplir les parcours plus complexes étant donné qu'ils ne possèdent pas encore les connaissances (gauche-droite) et capacités nécessaires (empan), bien qu'une sélection des participants ait été faite sur la base de ces connaissances et capacités notamment (épreuves psychométriques).

7. Un cas particulier, le parcours « 9_2 » (parcours de navigation par « reproduction »)

Il a été démontré, par le biais de la statistique inférentielle, que les pourcentages de réussite des participants dépendent du nombre de point d'inflexion présents dans le parcours. Ainsi, au plus le parcours comporte de points d'inflexion, au plus les pourcentages de réussite diminuent. Alors que l'on pouvait s'attendre à ce que le parcours 9_1 (9 points de décision et 1 point d'inflexion) soit mieux réussi que le parcours 9_2 (9 points de décision et 2 points d'inflexion), l'inverse s'est produit pour les participants âgés de 6-7 ans (10% de réussite supplémentaire) et 8-9 ans. Sur le graphique de la Figure 8.15, on remarque donc que le parcours 9_2 est mieux réussi par les enfants plus jeunes (65,2% de réussite pour ceux âgés de 8-9 ans) que par les enfants âgés de 10-11 ans (34,8% de réussite) et les adolescents âgés de 12-13 ans (31,8%). Les différences de pourcentages de réussite entre les groupes d'âges sont d'ailleurs statistiquement confirmées comme étant significatives ($\chi^2 = 20,115$; $p = .000$).

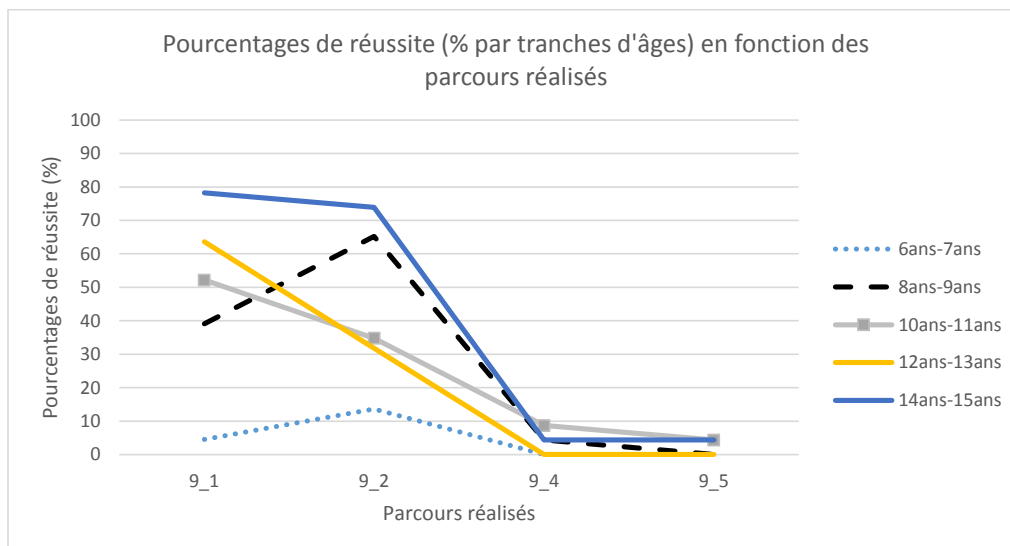


Figure 8.15 – Statistiques descriptives - Performances des élèves (% de réussite par tranches d'âges) en fonction des parcours réalisés

En s'intéressant plus spécifiquement au parcours 9_2, il a été remarqué que ce dernier possède des caractéristiques propres qui ne sont pas retrouvées dans les autres parcours. Ainsi, par hasard, seul le parcours 9_2 comporte des points de repères à des endroits stratégiques (« decisional landmarks » en anglais, Buchner & Jansen-Osmann, 2008 ;

Farran *et al.*, 2012), c'est-à-dire qu'un repère (bâtiment coloré) est associé à un changement de direction (à chaque point d'inflexion) et au point d'arrivée.

Étant donné ces résultats, on peut postuler le fait, qu'en fonction de leur âge, les participants mettent en œuvre des stratégies différentes permettant de retrouver leur chemin dans un environnement inconnu. Vu les résultats au parcours 9_2, on peut s'attendre à ce que les plus jeunes participants utilisent davantage les repères présents dans l'environnement et, qu'*a contrario*, les participants plus âgés ne se basent pas sur ces informations spatiales. Parallèlement à cela, on peut également s'interroger sur les types de stratégies, mises en œuvre par les participants plus âgés, pour effectuer les exercices de navigation demandés.

CHAPITRE 9 ANALYSE DES STRATÉGIES

DÉCLARÉES ÊTRE UTILISÉES LORS DES EXERCICES

DE NAVIGATION

Chapitre 9 **Analyse des stratégies déclarées être utilisées lors des exercices de navigation**

La seconde question principale, sur laquelle porte le présent chapitre, est : « Quelles sont les stratégies que déclarent mobiliser les participants pour réaliser les exercices de navigation proposés ? ». Si, une part importante de la littérature porte sur l'acquisition de connaissances spatiales chez les jeunes enfants (i.e. Waismeyer & Jacobs, 2013), entre les adultes et les personnes âgées (i.e. Gazova et al., 2013) ou chez les personnes présentant des pathologies (i.e. Lind et al., 2013 ; Wilkins et al., 2013 ; Smith, 2015), peu d'études portent sur les connaissances d'itinéraires (Siegel & White, 1975 ; Nys et al., 2015) et les stratégies de navigation qui y sont associées (Laurre, 2011), chez les enfants et adolescents non pathologiques, dans une perspective développementale. Dans ce chapitre, on s'interroge sur la construction des modèles spatiaux d'itinéraires chez l'enfant et l'adolescent et sur les stratégies qu'ils déclarent utiliser pour réaliser des exercices de navigation distincts dans des situations différentes. Comme l'indiquent Kitchen & Blades (2002), la capacité à naviguer dans un environnement repose principalement sur la capacité du cerveau à coder, organiser, stocker, modifier et récupérer des informations spatiales. Ainsi, plusieurs stratégies de navigation peuvent être utilisées (voir 1 Mise au point terminologique concernant les stratégies). Une récente recherche, comparant trois populations différentes (enfants, jeunes adultes et adultes plus âgés), semble montrer que cette capacité cognitive de navigation évolue en fonction de l'âge et qu'un changement de stratégies de navigation s'opère avant l'âge adulte (Bohbot *et al.*, 2012). En s'intéressant aux stratégies mises en œuvre par les enfants et adolescents pour reproduire un parcours dans un environnement inconnu, les réflexions menées ici concernent également les stratégies déclarées être mises en œuvre par ces individus, dans une perspective développementale, de façon à rendre compte d'un changement ou d'une éventuelle évolution de stratégie, entre 6 et 15 ans.

Tableau 9.1 – Description des expérimentations permettant de répondre à la deuxième question principale

Exp.	Ville(s) utilisée(s)	Coloration du bâti	Exercices de navigation	Entretiens cognitifs rétrospectifs	Questions
Exp. 1 (point 1.)	V-Squarecity	25%	Exercices de navigation par « reproduction »	Réalisé après la réalisation de l'ensemble des parcours	Q.1. Quelles sont les stratégies que les participants déclarent avoir utilisées pour effectuer les exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity ?
Exp. 2 (point 2.)	V-Squarecity	25%	Exercices de navigation par « décentration »	Réalisé après la réalisation de l'ensemble des parcours	Q.2. Quelles sont les stratégies que les participants déclarent avoir utilisées pour effectuer les exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity ?
Exp. 3 (point 4.)	V-Squarecity	25% - 40% - 90%	Exercices de navigation par « reproduction »	Réalisé après chacune des deux séries de parcours	Q.4. Le changement de coloration du bâti induit-il un changement dans les stratégies déclarées être mises en œuvre par les participants ?
Exp. 4 (point 5.)	V-Squarecity/ V-Sinuosity	25%	Exercices de navigation par « reproduction »	Réalisé après chacun des parcours	Q. 5. Les stratégies déclarées être mobilisées dépendent-elles de la structuration de la ville dans laquelle sont réalisés les exercices de navigation par « reproduction » ?

En vue d'apporter des éléments de réponse à la seconde question principale :

« Quelles sont les stratégies que déclarent mobiliser les participants pour réaliser les exercices de navigation proposés ? »

Les expérimentations menées, reprises dans le Tableau 9.1, sont les mêmes que celles décrites dans le chapitre précédent.

L'expérimentation 1 est donc réalisée dans V-Squarecity et invite les participants à effectuer des exercices de navigation par « reproduction ». A la suite de la réalisation des 13 parcours « reproduction », un entretien cognitif individuel est mené avec les participants. L'expérimentation 2 est également réalisée dans V-Squarecity. Les participants effectuent ici des exercices de navigation par « décentration ». Comme pour l'expérimentation précédente, un entretien cognitif est mené auprès de chacun des participants après la réalisation de l'ensemble des parcours. L'expérimentation 3 est également réalisée dans V-Squarecity et porte sur la réalisation d'exercices de navigation par « reproduction ». Contrairement aux expérimentations précédentes où la coloration du bâti était fixée à 25% pour l'ensemble des parcours réalisés, la coloration du bâti varie ici d'une série d'exercices à une autre (25%-40%-90% de coloration). L'entretien cognitif est mené auprès de chacun des participants après chaque série d'exercices. L'expérimentation 4 est, quant à elle, menée dans deux villes distinctes (V-Squarecity et V-Sinuosity). Les exercices de navigation proposés portent sur la « reproduction » de parcours et un entretien cognitif est effectué après la réalisation de chacun des parcours.

Un intérêt spécifique est donc d'abord porté aux stratégies déclarées être mises en œuvre dans des exercices de navigation par « reproduction » (Expérimentation 1) et dans des exercices de navigation par « décentration » (Expérimentation 2). Suite à cela, on s'interroge sur l'éventuelle différence de stratégies déclarées être mobilisées lors de ces deux exercices de navigation. Dans le point suivant, on cherche à déterminer si le changement de coloration du bâti (25%, 40%, 90%) influence les stratégies de navigation déclarées (Expérimentation 3). Enfin, on se demande si les stratégies déclarées être mises en œuvre dans V-Squarecity sont les mêmes que dans V-Sinuosity (Expérimentation 4). Chacun des points susmentionnés se rapporte à différentes expérimentations menées.

1 Mise au point terminologique concernant les stratégies

Étant donné que l'apprentissage réalisé « au niveau du sol » implique une représentation principalement égocentrique et facilite la compréhension des itinéraires (Wallet, Sauzéon, Larrue & N'Kaoua, 2013), l'ensemble des exercices de navigation proposés est basé sur l'utilisation du référentiel égocentrique. Comme l'indique Etienne (2012), sur la base des référentiels (égocentrique et allocentrique), plusieurs stratégies d'apprentissage d'un itinéraire peuvent être mises en œuvre. Dans la littérature, plusieurs stratégies de navigation sont traditionnellement distinguées : les stratégies de « réponse » définies en référence au *local system* (Labate, Pazzaglia & Hegarty, 2013 ; Overman, Pate, Moore, Peuster, 1996 ; Bohbot *et al.*, 2012 ; De Condappa, Wiener, 2014 ; Leplow *et al.*, 2003 ; Tolman, 1948), les stratégies basées sur l'élaboration de cartes cognitives (aussi appelées stratégie de « lieu » ou de « place ») définies en référence au *taxon system* (Gardner *et al.*, 2013) et les stratégies kinesthésiques (Lambrey & Berthoz, 2003).

Les stratégies de « réponse » font appel à des « indices proximaux de l'environnement et la position du sujet par rapport à ces indices » (Etienne, 2012, p. 17). Ces stratégies nécessitent une mise à jour constante de la relation entre le corps qui est en mouvement (mise à jour égocentrée), les indices de l'environnement et le but à atteindre. Reposant sur des associations « stimulus-réponse » acquises entre un élément environnemental (un repère) et un mouvement du corps réel ou, dans l'environnement virtuel, un mouvement du corps simulé, cette stratégie est de type « tourner à droite après le bâtiment bleu, tourner à gauche après le bâtiment rouge... ».

Les stratégies d'« élaboration de cartes cognitives » (ou de « lieu ») sont basées sur un modèle d'aménagement décrivant les relations spatiales métriques entre différents emplacements situés dans l'environnement (O'Keefe & Nadel, 1978). Elles reposent sur l'utilisation de représentations allocentriques d'un environnement vécu (création d'une carte cognitive basée sur la mémorisation des relations existantes entre les points de repères).

Les stratégies « kinesthésiques » sont, quant à elles, basées sur l'utilisation d'informations proprioceptives et kinesthésiques (Lafon, Vidal & Berthoz, 2009). Dans le cadre des expérimentations menées ici, la composante kinesthésique a volontairement été réduite. Ainsi, les seuls indices kinesthésiques, pouvant être utilisés par le participant, sont : le mouvement effectué par le poignet (par le biais de l'interface uni-

manuelle) et les éventuels mouvements réalisés par le participant, placé face à l'écran (rotation sur la chaise, par exemple).

Dans ce chapitre, les termes de « stratégies de réponse », « cartes cognitives » et de « kinesthésique » sont utilisés pour désigner des stratégies mobilisées par les participants. Ils sont employés en référence aux définitions précédemment présentées.

À ces trois stratégies habituellement répertoriées dans la littérature, il est ici proposé deux autres termes pour désigner deux autres stratégies : la stratégie de « comptage » et la stratégie « mixte ».

Le terme de stratégie de « comptage » est employé pour caractériser la manière dont certains participants s'y prennent pour reproduire les parcours demandés. Lors des entretiens cognitifs, menés -dans un premier temps- lors des pré-expérimentations, il est clairement apparu qu'une stratégie basée sur l'enregistrement, le codage et la restitution d'une série d'informations (nombre de pas effectués ou nombre de bâtiments dépassés et direction prise) était utilisée par certains participants. Nécessitant une forme plus ou moins élaborée de comptage, cette stratégie est de type « 1x tout droit, 1x tout droit, 1x tout droit, gauche, 1x tout droit, 1x tout droit, droite » ; « 3x tout droit, gauche, 2x tout droit puis droite » ou, dans sa forme la plus élaborée, « 3^e, gauche, 2^e, droite.../3G2D ». Si cette stratégie s'apparente à d'autres stratégies reposant sur la mémorisation d'injonctions de tournants à « droite » et à « gauche » à partir d'une position de départ, elle s'en distingue puisqu'elle consiste en une connaissance déclarative, et non en une connaissance procédurale. La stratégie de « comptage » repose, en effet, sur la mémorisation puis le codage d'une suite de chiffres et de mots/lettres de façon à constituer, dans sa forme la plus élaborée, des *chunks* (moyen mnémotechnique basé sur l'agrégation d'informations) (Miller, 1956).

Également apparue lors des pré-expérimentations menées, la stratégie « mixte » est une stratégie combinée qui allie la stratégie de « réponse » à la stratégie de « comptage ». Ainsi, d'une part, les participants prennent en considération les repères fournis par l'environnement et, d'autre part, ils « comptent » et restituent les informations codées.

Des exemples de stratégies déclarées, provenant des entretiens cognitifs menés, peuvent être trouvés dans la section « 3 Recueil & analyse de données ».

2. Expérimentation 1 : Les stratégies déclarées être mobilisées pour effectuer les exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity

2.1 Questions & Hypothèse

La première expérimentation menée portait sur la réalisation d'exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity. À la fin de la reproduction de treize parcours, les participants étaient interrogés sur la manière dont ils s'y sont pris pour effectuer les parcours demandés. L'objectif est ici, de s'interroger sur les stratégies déclarées être mobilisées lors d'exercices de navigation par « reproduction ». Pour y parvenir, deux questions et une hypothèse sont formulées :

- Q.1.1. Quelles sont les stratégies que les participants déclarent avoir utilisées pour effectuer les exercices de navigation par reproduction dans V-Squarecity ?
- H.1. Les stratégies déclarées être utilisées pour la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » diffèrent en fonction de l'âge des participants.
- Q.1.2. Peut-on remarquer un changement de stratégies à un âge donné ?

2.2 Rappel de l'expérimentation 1 & de l'échantillon

Comme dit précédemment, la première expérimentation portait sur la réalisation d'exercices de navigation par « reproduction ». Pour rappel, le participant devait parcourir un itinéraire dans V-Squarecity en suivant des balises. Dès qu'il arrivait à la fin du parcours, il était replacé au point de départ et devait reproduire le même chemin, sans la présence des balises. Au total, treize parcours de reproduction ont été effectués. La ville, dans laquelle ont été réalisés les parcours, était caractérisée par un pourcentage de coloration du bâti fixé à 25% (coloration du bâti en bleu, rouge, vert). La localisation de ces points de repères avait été effectuée de manière aléatoire.

Cette première expérimentation a été réalisée par 113 participants, âgés de 6 à 15 ans (Tableau 9.2). Pour rappel, les participants proviennent d'une même population scolaire. Un nombre a été attribué à chaque enfant de façon aléatoire. Les élèves possédant un nombre pair étaient conviés à réaliser les exercices de navigation par « reproduction ».

Tableau 9.2 – Echantillon d'élèves pour les exercices de navigation par « reproduction »

Tranches d'âges	Effectifs	Pourcentages
6-7 ans	22	19,5
8-9 ans	23	20,4
10-11 ans	23	20,4
12-13 ans	22	19,5
14-15 ans	23	20,4
Total	113	100,0

2.3 Données utilisées

Les données utilisées, servant à répondre aux questions et hypothèse de recherche posées, proviennent des entretiens cognitifs, menés auprès de chacun des participants. À la fin des treize parcours demandés, les participants étaient interrogés à propos des stratégies qu'ils ont mises en œuvre pour effectuer l'exercice demandé. La présentation des résultats porte sur les réponses fournies à la question suivante :

- « Comment t'y es-tu pris pour reproduire le parcours (en sens inverse) dans la ville, sans les balises/points bleu(e)s ? ».

Afin d'obtenir plus d'informations concernant le codage des stratégies, le chapitre 7 peut être consulté.

Concrètement, dans la partie « Résultats », on s'intéresse tout d'abord à l'ensemble des stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants lors de la réalisation des parcours de « reproduction » (tous âges confondus). Ensuite, un intérêt est porté à ces mêmes stratégies pour chacune des tranches d'âges considérées (6-7 ans ; 8-9 ans ; 10-11 ans ; 12-13 ans et 14-15 ans). Enfin, en raison de la taille réduite des échantillons et dans le but de rendre les propos tenus plus intelligibles (par tranches d'âges), ces stratégies ont été regroupées en quatre catégories : la stratégie de « réponse », la stratégie de « comptage », la stratégie « mixte » et les stratégies « autres ». La catégorie Stratégie de réponse comporte l'ensemble des stratégies faisant intervenir la mémorisation de repères et le mouvement du corps (stimulus-réponse). Cette catégorie comprend donc : la stratégie de « réponse », la stratégie combinée alliant la stratégie de réponse à la stratégie d'élaboration de cartes cognitives ainsi que la stratégie combinée alliant la stratégie de réponse à la stratégie kinesthésique. La catégorie Stratégie de comptage reprend l'ensemble des stratégies faisant intervenir le comptage (dans une forme plus

ou moins élaborée). Cette catégorie comprend donc : la stratégie de comptage, la stratégie combinée alliant la stratégie de comptage à la stratégie d'élaboration de cartes cognitives ainsi que la stratégie combinée alliant la stratégie de comptage à la stratégie kinesthésique. La catégorie Stratégie mixte ne comprend que les stratégies portant à la fois sur la stratégie de réponse et sur la stratégie de comptage. Cette catégorie ne concerne que les individus qui n'ont pas de stratégie de préférence, qui utilisent les repères de l'environnement et comptent le nombre de blocs. Enfin, la catégorie Autres stratégies ne porte que sur l'élaboration/utilisation exclusive de cartes cognitives et sur l'utilisation exclusive de la stratégie kinesthésique. Il a été choisi de regrouper ces deux stratégies dans une seule et même catégorie étant donné que les expérimentations menées n'avaient pour but de faire émerger ni des stratégies relatives à la conception de carte cognitive (la navigation repose d'ailleurs uniquement sur l'utilisation du référentiel égocentrique), ni des stratégies relatives à la composante kinesthésique (la composante motrice a été intentionnellement réduite).

2.4 Résultats

2.4.1 Q.1.1. Quelles sont les stratégies que les participants déclarent avoir utilisées pour effectuer les exercices de navigation par reproduction dans V-Squarecity ?

On s'intéresse ici aux stratégies déclarées avoir été mobilisées par l'ensemble des participants (toutes tranches d'âges confondues) pour la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity (Figure 9.1).

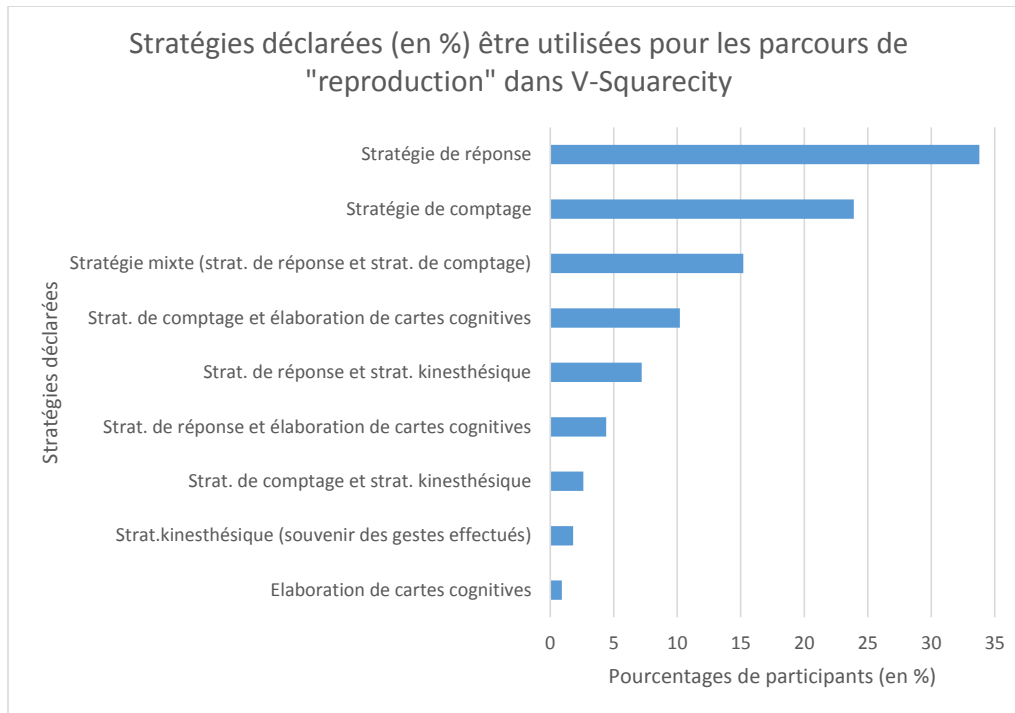


Figure 9.1 – Pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies (%) lors des exercices de navigation par « reproduction » (toutes tranches d'âges confondues)

Par la lecture du graphique proposé, il apparaît que neuf stratégies ont été déclarées être mobilisées lors de la réalisation des exercices de navigation par « reproduction ». La stratégie déclarée avoir été mobilisée par le plus de participants, est la stratégie de « réponse » (33,8%). S'en suit la stratégie de « comptage » qui a, selon les propos des participants, été utilisée par près de 24% des participants (23,9%). La stratégie « mixte » (stratégie de réponse et stratégie de comptage) a, quant à elle, été déclarée être mobilisée par 15,2% de participants. La stratégie combinée « comptage*carte cognitive » a déclaré avoir été mise en œuvre par un peu plus de 10% des participants (10,2%). Le reste des participants a déclaré avoir mobilisé les stratégies suivantes : stratégie combinée « réponse*kinesthésique » (7,2%), stratégie combinée « réponse*carte cognitive » (4,4% des participants), stratégie combinée « comptage*kinesthésique » (2,6% des participants), stratégie kinesthésique (1,8%) et stratégie relative à l'élaboration de cartes cognitives (<1%).

2.4.2 H.1. Les stratégies déclarées être utilisées pour la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » diffèrent en fonction de l'âge des participants.

➤ Analyses descriptives

Eu égard aux récentes découvertes réalisées par Bohbot *et al.* (2012), on postule que les stratégies déclarées être mobilisées par les participants lors de la réalisation d'exercices de navigation par « reproduction » diffèrent en fonction de leur âge.

Afin d'affirmer ou d'infirmer cette hypothèse, on porte ici intérêt aux stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants en fonction de leur âge. Dans le Tableau 9.3, sont présentés les pourcentages de participants, issus de chacune des tranches d'âges, qui ont déclaré avoir utilisé une des stratégies préalablement identifiées.

Tableau 9.3 - Description des stratégies mises en œuvre par les participants, pour les exercices de navigation par « reproduction » (% par tranches d'âge)

	6 ans- 7 ans	8 ans- 9 ans	10 ans- 11 ans	12 ans- 13 ans	14 ans- 15 ans
Utilisation des points de repères (couleurs)	59,1	47,8	30,4	18,2	13,0
Utilisation d'une stratégie de comptage	4,5	8,7	30,4	27,3	47,8
Stratégie mixte (utilisation de points de repères (couleurs) et d'une stratégie de comptage)	13,6	13,0	21,7	18,2	8,7
Utilisation d'une stratégie de comptage et élaboration de cartes cognitives	0,0	4,3	4,3	22,7	21,7
Utilisation des points de repères (couleurs) et souvenir des gestes effectués (kinesthésie)	18,2	13,0	4,3	0,0	0,0
Utilisation des points de repères (couleurs) et élaboration de cartes cognitives	0,0	8,7	4,3	4,5	4,3
Utilisation d'une stratégie de comptage et souvenir des gestes effectués (kinesthésie)	0,0	0,0	4,3	9,1	0,0
Souvenir des gestes effectués (kinesthésie)	4,5	4,3	0,0	0,0	0,0
Elaboration de cartes cognitives	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3
Total	100	100	100	100	100

Ce Tableau 9.3 permet de constater qu'en fonction de l'âge des participants, des stratégies différentes de navigation sont mises en œuvre. Ainsi, par exemple, on remarque qu'aucun participant, âgé de 6-7 ans, ne déclare avoir eu recours aux stratégies combinées « comptage*cartes cognitives », « réponse*carte cognitive ». *A contrario*, Il apparaît que seuls les plus jeunes participants (6-7 ans ; 8-9 ans et 10-11 ans) disent mobiliser la stratégie combinée « réponse*kinesthésique ». On remarque également que la stratégie kinesthésique n'est déclarée être utilisée que par quelques participants, âgés de 6-7 ans et 8-9 ans.

Comme mentionné dans la partie « Données utilisées », des regroupements de stratégies ont été réalisés. Quatre catégories de stratégies ont donc été créées *a posteriori*. La Figure 9.2 permet de prendre connaissance de manière plus claire, des stratégies déclarées avoir été utilisées par les participants d'âges différents.

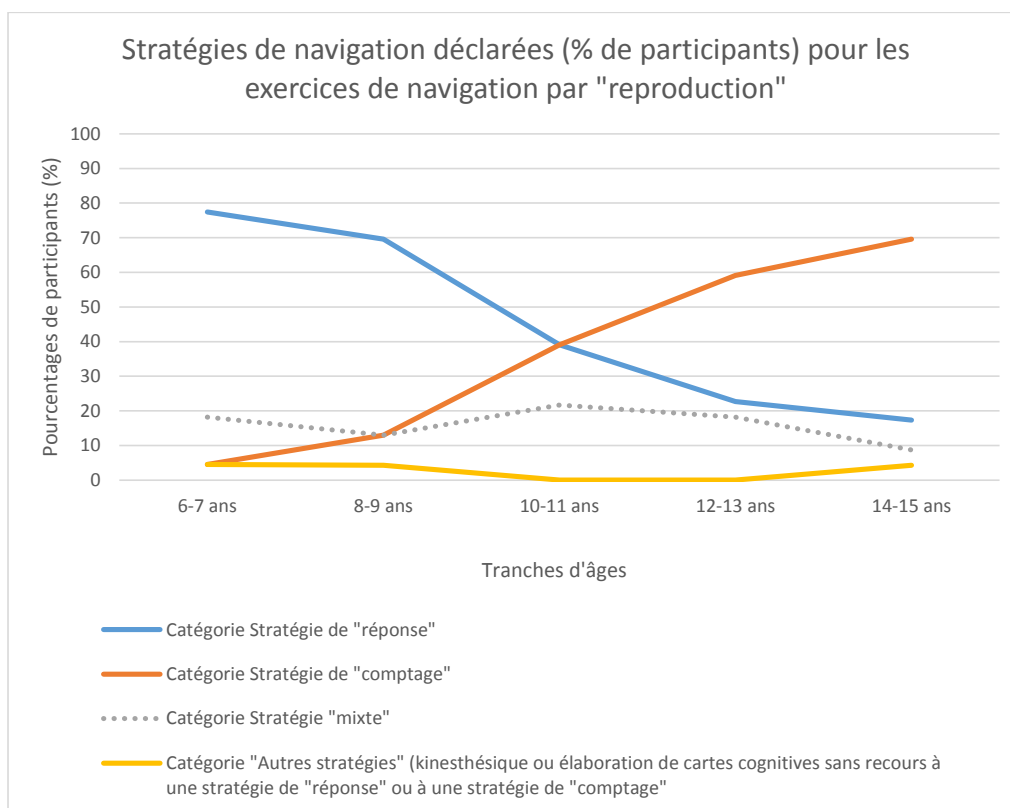


Figure 9.2 – Regroupement des stratégies mises en œuvre en quatre catégories et présentation des pourcentages des participants (par tranches d'âges) qui déclarent avoir utilisé une de ces stratégies lors des exercices de « reproduction »

Alors que plus de 77% (77,4%) des élèves de la tranche d'âge 6-7 ans déclarent se servir des points de repères pour effectuer l'exercice, les enfants âgés de 8-9 ans ne sont plus que 69,6% à les utiliser (Figure 9.2). Ce pourcentage passe largement en dessous des 50% pour les enfants âgés de 10-11 ans (39,1%) et diminue encore pour les adolescents âgés de 12-13 ans (22,7%). Pour la tranche d'âge 14-15 ans, seuls 17,3% des adolescents utilisent encore une stratégie basée sur l'utilisation des points de repères. Concernant la deuxième classe, relative au comptage, on assiste à une inversion de la tendance. Les plus jeunes enfants font très peu usage d'une stratégie de comptage (4,5% pour les 6-7 ans et 13% pour les 8-9 ans), les enfants âgés de 10-11 ans sont 39,1% à compter le nombre de pas effectués ou le nombre de blocs (bâtiments). Le pourcentage dépasse les 50% pour les adolescents âgés de 12-13 ans (59,1%) ainsi que pour les adolescents âgés de 14-15 ans (69,6%). Concernant la troisième classe, près de 15% de l'ensemble des enfants et adolescents déclarent avoir eu recours à une stratégie mixte. On remarque cependant que ce sont les élèves âgés de 10-11 ans qui font davantage usage d'une stratégie mixte (21,7%).

2.4.3 Q.1.2. Peut-on remarquer un changement de stratégies à un âge donné ?

La lecture du graphique, proposé en Figure 9.2, permet de répondre à cette question par l'affirmative. En effet, il apparaît clairement qu'un changement de stratégies a lieu à l'âge de 10-11 ans. Si à l'âge de 8-9 ans, près de 70% des participants disent avoir utilisé une stratégie de réponse, ils sont 39,1% à l'âge de 10-11 ans à déclarer avoir eu recours à une stratégie de réponse. Ce pourcentage diminue encore à l'âge de 12-13 ans (puisque 22% des participants disent l'utiliser). Parallèlement à cela, si seuls 13% des participants âgés de 8-9 ans déclarent avoir mis en oeuvre une stratégie de comptage, ils sont 39,1% à l'âge de 10-11 ans à dire l'avoir mobilisée. Ce pourcentage dépasse les 59% de participants âgés de 12-13 ans. L'autre indice, permettant de confirmer ce changement de stratégies, est que les participants de 10-11 ans se disent plus enclin à utiliser une stratégie mixte que les participants issus des autres âges.

➤ *Analyses inférentielles*

Dans l'optique de confirmer du point de vue de la statistique inférentielle qu'en fonction de l'âge des stratégies différentes sont déclarées être mobilisées, des χ^2 ont été calculés (Tableau 9.4). La présentation des R^2 permet de prendre connaissance du degré de relation existant entre les deux variables considérées.

Tableau 9.4 - Statistiques inférentielles relatives aux catégories de stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants (en fonction de leur appartenance à une tranche d'âge) lors de la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity

Stratégie*tranches d'âges	Statistique χ^2	p	R^2
Stratégie de réponse	26,664	.000	.945
Stratégie de comptage	30,660	.000	.975
Stratégie mixte	1,807	.790	-----
Autres stratégies	2,042	.948	-----

La lecture du Tableau 9.4 permet d'affirmer l'existence de différences significatives concernant la catégorie stratégie de « réponse » et la catégorie stratégie de « comptage » en fonction de l'âge des participants. On remarque que la valeur du coefficient de détermination (R^2) est, pour ces deux premières stratégies, élevée. Cela permet de souligner la qualité des relations linéaires existantes entre les stratégies de « réponse »/de « comptage » et l'âge des participants. Aucune différence n'apparaît comme étant significative pour les catégories stratégie « mixte » et les « autres stratégies » en fonction de l'âge des participants. On ne peut donc affirmer qu'il existe un lien de dépendance entre les catégories stratégie « mixte » ou « autres » et l'âge des participants.

2.5 Synthèse des résultats de l'expérimentation 1

Le tableau suivant (Tableau 9.5) synthétise les résultats obtenus relatifs aux stratégies déclarées pour la première expérimentation.

Tableau 9.5 – Synthèse des résultats portant sur les stratégies déclarées lors de la première expérimentation

S-Q.1.1.	Quelles sont les stratégies que les participants déclarent avoir utilisées pour effectuer les exercices de navigation par reproduction dans V-Squarecity ?		Neuf stratégies ont été déclarées être mobilisées lors de la réalisation des exercices de navigation par « reproduction ». Il s'agit des stratégies suivantes (par ordre de fréquence d'apparition) : la stratégie de « réponse » (33,8% des participants), la stratégie de « comptage » (23,9% des participants), la stratégie « mixte » (15,2% de participants), la stratégie « comptage*carte cognitive » (10,2% des participants), la stratégie combinée « réponse*carte cognitive » (4,4% des participants), la stratégie combinée « comptage*kinesthésique » (2,6% des participants), la stratégie kinesthésique (1,8% des participants) et la stratégie relative à l'élaboration de cartes cognitives (<1% des participants).
H.1.	Les stratégies déclarées être utilisées pour la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » diffèrent en fonction de l'âge des participants.	Confirmée	Les analyses descriptives ont permis de mettre en évidence des différences de stratégies déclarées en fonction des tranches d'âges. Il apparaît que les plus jeunes participants déclarent avoir eu davantage recours à la stratégie de réponse alors que les participants plus âgés déclarent avoir mobilisé les stratégies de comptage. Pour ces deux stratégies, les différences ont été confirmées par la statistique inférentielle ($\chi^2 = 26,664$; $p = .000$, pour la stratégie de réponse et $\chi^2 = 30,660$; $p = .000$, pour la stratégie de comptage). Concernant les catégories stratégies mixte et autres stratégies, aucune différence de stratégies déclarées en fonction de l'âge des participants n'a été confirmée.
Q.1.2.	Peut-on remarquer un changement de stratégies à un âge donné ?	Oui	À l'âge de 10-11 ans.

3. Expérimentation 2 : Les stratégies déclarées être utilisées pour effectuer les exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity

3.1 Questions & Hypothèses

La deuxième expérimentation portait sur la réalisation d'exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity. À la fin des treize parcours, les participants étaient interrogés sur la manière dont ils s'y sont pris pour effectuer les parcours demandés, en sens inverse. L'objectif est ici de s'interroger sur les stratégies déclarées être mobilisées lors d'exercices de navigation par « décentration ». Tout comme pour l'expérimentation présentée précédemment, deux questions et une hypothèse sont formulées :

- Q.2.1. Quelles sont les stratégies que les participants déclarent avoir utilisées pour effectuer les exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity ?
- H.2.1. Les stratégies déclarées être utilisées pour la réalisation des exercices de navigation par « décentration » diffèrent en fonction de l'âge des participants.
- Q.2.2. Peut-on remarquer un changement de stratégies à un âge donné ?

3.2 Rappel de l'expérimentation 2, de l'échantillon & des données utilisées

La deuxième expérimentation portait, donc, sur la réalisation d'exercices de navigation par « décentration ». Pour rappel, le participant devait parcourir un itinéraire dans l'environnement virtuel en suivant les balises indiquées. Dès qu'il arrivait à la fin du parcours, l'ordinateur faisait effectuer au participant un demi-tour et, ce dernier devait alors exécuter le même parcours en sens inverse, sans l'aide des balises bleues. L'ensemble des parcours de « décentration » proposé, c'est-à-dire treize parcours, sont réalisés consécutivement dans V-Squarecity. Comme pour l'expérimentation précédente, la ville dans laquelle ont été réalisés les parcours, était caractérisée par un pourcentage de coloration du bâti fixé à 25% (coloration du bâti en bleu, rouge, vert). La localisation de ces points de repères est strictement la même que lors de l'expérimentation 1 (les bâtiments colorés sont donc placés aux mêmes endroits que dans l'expérimentation 1). À la fin de la réalisation de ces parcours, un bref entretien

cognitif est mené avec chacun des 113 participants, âgés de 6 à 15 ans, constituant l'échantillon de cette expérimentation. Le détail de l'échantillon est présenté dans le Tableau 9.6.

Tableau 9.6 - Echantillon d'élèves pour les exercices de navigation par « décentration »

Tranches d'âges	Effectifs	Pourcentages
6-7 ans	22	19,5
8-9 ans	23	20,4
10-11 ans	22	19,5
12-13 ans	23	20,4
14-15 ans	23	20,4
Total	113	100,0

Concernant les données utilisées dans la partie « Résultats », celles-ci sont les mêmes que celles utilisées lors de l'expérimentation 1 (voir « Données utilisées » dans le point consacré à l'expérimentation 1 – les stratégies).

En résumé, les données utilisées, dans cette section relative aux stratégies déclarées pour les exercices de navigation par « décentration », concernent :

- l'ensemble des stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants lors de la réalisation des parcours de « décentration », quel que soit leur âge ;
- les stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants en fonction de leur appartenance à une tranche d'âges (6-7 ans ; 8-9 ans ; 10-11 ans ; 12-13 ans et 14-15 ans) pour chacun des exercices de navigation demandé ;
- l'utilisation du regroupement des stratégies en quatre catégories : stratégie de « réponse », stratégie de « comptage », stratégie « mixte » et stratégie « autres » (répartition du pourcentage de participants en fonction des tranches d'âges).

3.3 Résultats

3.3.1 Q.2.1. Quelles sont les stratégies que les participants déclarent avoir utilisées pour effectuer les exercices de navigation par « décentration » dans V-Squarecity ?

L'attention est, ici, portée aux stratégies déclarées avoir été mobilisées par l'ensemble des participants (toutes tranches d'âges confondues) pour la réalisation des exercices de

navigation par « décentration » dans V-Squarecity. L'ensemble des stratégies déclarées avoir été mobilisées apparaissent en Figure 9.3.

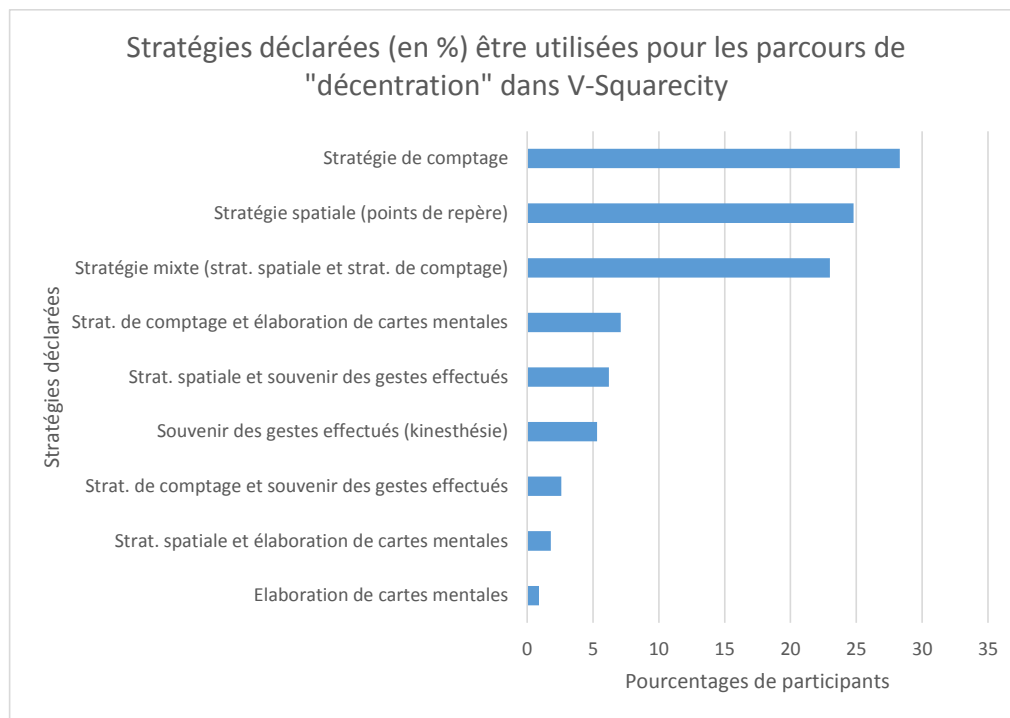


Figure 9.3 – Pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies (%) lors des exercices de navigation par « décentration » (toutes tranches d'âges confondues)

La lecture de la Figure 9.3 permet de remarquer que neuf stratégies ont été déclarées être mobilisées par les participants, lors de la réalisation des exercices de navigation par « décentration ». La stratégie déclarée avoir été mobilisée par le plus grand nombre de participants est la stratégie de comptage (28,3%). La deuxième stratégie déclarée avoir été utilisée par un nombre important de participants, est la stratégie de « réponse » (24,8%). La troisième stratégie à avoir été annoncée lors des entretiens est la stratégie mixte. En effet, 23% des participants ont déclaré avoir mobilisé cette stratégie pour la réalisation des parcours de « décentration ». Toutes les autres stratégies ont été mobilisées par moins de 8% des participants. Il s'agit de : la stratégie combinée « comptage*carte cognitive » (7,1% des participants), la stratégie « réponse*kinesthésique » (6,2% des participants), la stratégie kinesthésique (5,3%), la stratégie combinée « comptage*kinesthésique » (2,6% des participants) « réponse*carte cognitive » (1,8% des participants) et la stratégie relative à l'élaboration de cartes cognitives (<1%).

3.3.2 H.2. Les stratégies déclarées être utilisées pour la réalisation des exercices de navigation par « décentration » diffèrent en fonction de l'âge des participants.

➤ Analyses descriptives

Dans l'optique d'affirmer ou d'infirmer l'hypothèse formulée, on s'intéresse à présent aux stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants de tranches d'âges différentes. Le Tableau 9.7 comporte les pourcentages de participants, issus de chacune des tranches d'âges, déclarant avoir utilisées une des stratégies.

Tableau 9.7 - Description des stratégies mises en œuvre par les participants, pour les exercices de navigation par « décentration » (% par tranches d'âge)

	6 ans-7 ans	8 ans-9 ans	10 ans-11 ans	12 ans-13 ans	14 ans-15 ans
Utilisation d'une stratégie de comptage	0,00	8,80	36,40	39,20	56,70
Utilisation des points de repères (couleurs)	54,50	39,10	18,20	8,70	4,30
Stratégie mixte (utilisation de points de repères (couleurs) et d'une stratégie de comptage)	9,20	26,20	36,40	21,70	21,70
Utilisation d'une stratégie de comptage et élaboration de cartes cognitives	0,00	4,30	0,00	17,40	13,00
Utilisation des points de repères (couleurs) et souvenir des gestes effectués (kinesthésie)	13,60	13,00	4,50	0,00	0,00
Souvenir des gestes effectués (kinesthésie)	22,70	4,30	0,00	0,00	0,00
Utilisation d'une stratégie de comptage et souvenir des gestes effectués (kinesthésie)	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00
Utilisation des points de repères (couleurs) et élaboration de cartes cognitives	0,00	4,30	4,50	0,00	0,00
Elaboration de cartes cognitives	0,00	0,00	0,00	0,00	4,30
Total	100	100	100	100	100

La lecture du Tableau 9.7 permet de remarquer qu'en fonction de l'âge des participants, des stratégies de navigation différentes sont ou non mobilisées. Il apparaît par exemple qu'aucun participant âgé de 6-7 ans ne déclare utiliser une stratégie de comptage pour reproduire les parcours en sens inverse. On remarque également qu'un faible pourcentage de jeunes participants déclare utiliser la stratégie combinée « comptage*cartes cognitives ». *A contrario*, on remarque que les participants, âgés de 6-7 ans jusque 10-11 ans, disent avoir eu recours à la stratégie combinée « réponse*kinesthésique ». Il en est de même pour la stratégie kinesthésique qui n'est déclarée être utilisée que par les participants de 6-7 ans et, pour un faible pourcentage, les 8-9 ans. Seuls 13% des participants de 12-13 ans déclarent avoir eu recours à la stratégie combinée « comptage*kinesthésique ». Enfin, peu de participants ont dit avoir utilisé la stratégie « réponse*carte cognitive » et la stratégie carte cognitive.

Après avoir procédé au regroupement de stratégies, on peut remarquer, via la Figure 9.4, des différences de stratégies déclarées en fonction de l'âge des participants.

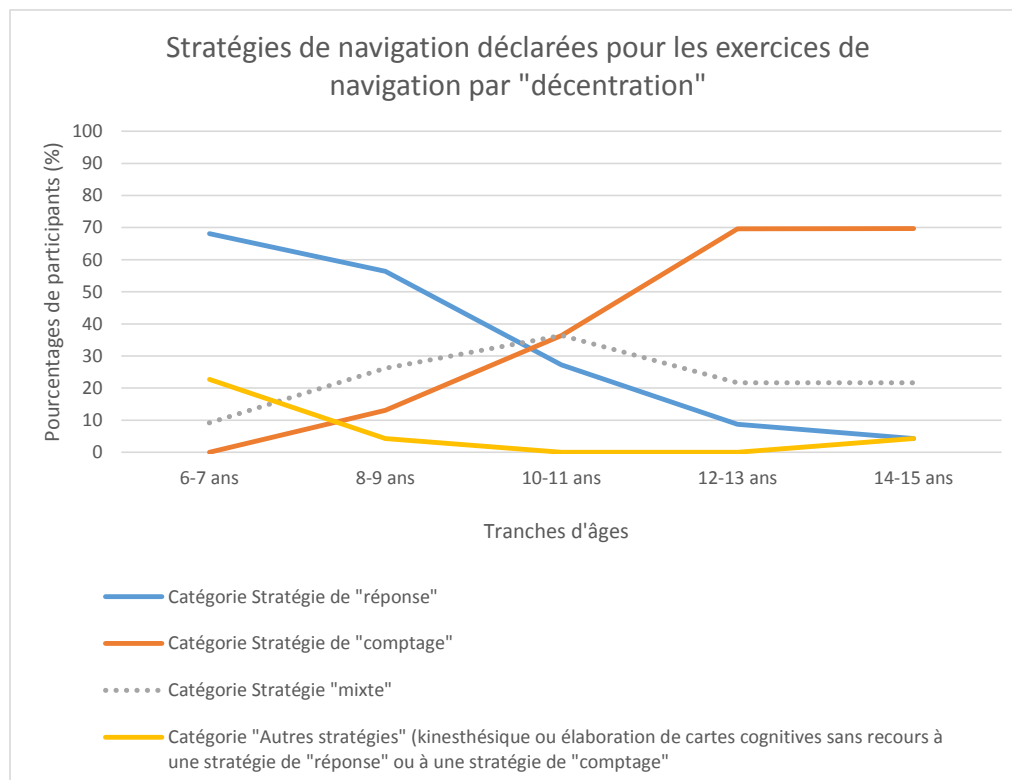


Figure 9.4 – Regroupement des stratégies mises en œuvre en quatre catégories et présentation des pourcentages des participants (par tranches d'âges) qui déclarent avoir utilisé une de ces stratégies lors des exercices de « décentration »

La lecture du graphique (Figure 9.4) permet de remarquer que 68,1% des participants âgés de 6-7 ans déclarent avoir utilisé une stratégie de « réponse ». Les participants âgés de 8-9 ans sont, quant à eux, 56,4% à dire l'avoir utilisée. Le pourcentage de participants âgés de 10-11 ans, déclarant avoir mobilisé une stratégie de réponse, diminue encore pour n'atteindre que les 27,2%. À l'âge de 12-13 ans et 14-15 ans, les pourcentages de participants, disant avoir mis en œuvre une stratégie de réponse, sont faibles (8,7% pour les participants de 12-13 ans et 4,3% pour les participants âgés de 14-15 ans). Concernant l'utilisation d'une stratégie de comptage, aucun des participants âgés de 6-7 ans ne déclare l'avoir utilisée. À l'âge de 8-9 ans, 13,1% des participants affirment avoir employé cette stratégie alors qu'ils sont 36,4% à l'âge de 10-11 ans, à dire l'avoir utilisée pour effectuer les parcours en sens inverse. Ce pourcentage de participants augmente jusqu'à l'âge de 12-13 ans et reste ensuite stable (69,6%). Pour ce qui est de l'utilisation de la stratégie mixte, on remarque que celle-ci est déclarée être utilisée par 9,2% des participants âgés de 6-7 ans, 26,2% des participants âgés de 8-9 ans, 36,4% des participants âgés de 10-11 ans, 21,7% des participants âgés de 12-13 ans et 14-15 ans. En ce qui concerne l'utilisation d'autres stratégies, 22,7% des participants âgés de 6-7 ans déclarent avoir usé de la stratégie kinesthésique et 4,3% des participants âgés de 14-15 ans disent avoir élaboré une carte cognitive (cf. Tableau 9.7).

3.3.3 Q.2.2. Peut-on remarquer un changement de stratégies à un âge donné ?

On peut affirmer qu'un changement de stratégies a lieu à l'âge de 10-11 ans. En effet, en observant les pourcentages de participants déclarant avoir mobilisées des stratégies de réponse et de comptage sur la Figure 9.4, on remarque une inversion des pourcentages à l'âge de 10-11 ans. En tenant compte du pourcentage de participants ayant mobilisé la stratégie mixte, on remarque également que ce sont les participants âgés de 10-11 ans qui disent le plus l'utiliser.

➤ *Analyses inférentielles*

La statistique inférentielle permet de confirmer certaines différences concernant les stratégies déclarées être mobilisées en fonction de l'âge des participants. Les χ^2 calculés (Tableau 9.8) permettent en effet d'affirmer l'existence de différences significatives, en fonction de l'âge des participants, concernant les catégories stratégie de réponse, stratégie de comptage et autres stratégies. On peut donc affirmer qu'il existe un lien de dépendance entre ces trois catégories de stratégies et l'âge des participants. On remarque que la valeur du coefficient de détermination (R^2) est, pour les deux premières catégories de stratégies, élevée tandis qu'elle est faible pour la catégorie autres stratégies. Aucune différence n'apparaît comme étant significative pour la catégorie stratégie mixte en fonction de l'âge des participants.

Tableau 9.8 - Statistiques inférentielles relatives aux catégories de stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants (en fonction de leur appartenance à une tranche d'âge) lors de la réalisation des exercices de navigation par « décentra

	Statistique χ^2	p	R^2
Stratégie de réponse	33,211	.000	.952
Stratégie de comptage	39,022	.000	.942
Stratégie mixte	4,785	.310	-----
Autres stratégies	13,590	.009	.474

3.4 Synthèse des résultats de l'expérimentation 2

Le tableau suivant (Tableau 9.9) synthétise les résultats obtenus relatifs aux stratégies déclarées pour la deuxième expérimentation.

Tableau 9.9 – Synthèse des résultats portant sur les stratégies déclarées lors de la deuxième expérimentation

S-Q.2.1.	Quelles sont les stratégies que les participants déclarent avoir utilisées pour effectuer les exercices de navigation par reproduction dans V-Squarecity ?		Neuf stratégies ont été déclarées être mobilisées lors de la réalisation des exercices de navigation par « décentration ». Il s'agit des stratégies suivantes (par ordre de fréquence d'apparition) : la stratégie de comptage (28,3%), la stratégie de réponse (24,8%), la stratégie mixte, la stratégie « comptage*carte cognitive » (7,1% des participants), la stratégie « réponse*kinesthésique » (6,2% des participants), la stratégie kinesthésique (5,3%), la stratégie « comptage*kinesthésique » (2,6% des participants) « réponse*carte cognitive » (1,8% des participants) et la stratégie relative à l'élaboration de cartes cognitives (<1%).
H.2.	Les stratégies déclarées être utilisées pour la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » diffèrent en fonction de l'âge des participants.	Confirmée	Les analyses descriptives ont permis de mettre en évidence des différences de stratégies déclarées en fonction des tranches d'âges. Il apparaît que les plus jeunes participants déclarent avoir utilisé les stratégies de réponse et kinesthésique plutôt que la stratégie de comptage. A l'inverse, il apparaît que les participants plus âgés disent avoir privilégié les stratégies de comptage. Ces différences de stratégies déclarées être utilisées en fonction de l'âge des participants ont été confirmées par la statistique inférentielle ($\chi^2 = 33,211$; $p = .000$ pour la catégorie stratégie de réponse ; $\chi^2 = 39,022$; $p = .000$ pour la catégorie stratégie de comptage ; $\chi^2 = 13,590$; $p = .009$ pour la catégorie autres stratégies). Aucune différence significative n'a été remarquée concernant l'utilisation d'une stratégie mixte en fonction de l'âge des participants.
Q.2.2.	Peut-on remarquer un changement de stratégies à un âge donné ?	Oui	A l'âge de 10-11 ans.

4. Les stratégies déclarées être mobilisées par les participants différent-elles en fonction de la complexité des exercices de navigation demandés ?

4.1 Questions

On se demande, ici, si les stratégies déclarées être utilisées lors des exercices de navigation par « reproduction » et par « décentration » sont ou non identiques. La question les sous-questions de cette section sont :

- Q.3. Les stratégies déclarées être mobilisées par les participants différent-elles en fonction de la complexité des exercices de navigation demandés (exercices de navigation par « reproduction » versus exercices de navigation par « décentration ») ?
- Q.3.1. Les stratégies déclarées être mises en oeuvre par l'ensemble des participants, quelle que soit leur âge, différent-elles en fonction de la complexité des exercices de navigation demandés ?
- Q.3.2. Peut-on remarquer des différences concernant les stratégies déclarées avoir été utilisées pour réaliser chacun des exercices demandés pour chacune des tranches d'âges ?

4.2 Echantillon et présentation des données utilisées

Afin de répondre à ces deux questions, on effectue la comparaison des stratégies déclarées avoir été mobilisées par deux groupes de participants. D'une part, il s'agit des participants qui ont réalisé les exercices de navigation par « reproduction » (premier groupe, N = 113) et, d'autre part, sont considérés les participants qui ont réalisé les exercices de navigation par « décentration » (second groupe, N = 113).

Les données utilisées pour comparer les stratégies déclarées avoir été mises en oeuvre sont les suivantes :

- l'ensemble des stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants, quel que soit leur âge, lors de la réalisation des exercices de navigation par « reproduction » (premier groupe) et lors de la réalisation des exercices de navigation par « décentration » (second groupe) ;

- les stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants en fonction de leur appartenance à une tranche d'âges (6-7 ans ; 8-9 ans ; 10-11 ans ; 12-13 ans et 14-15 ans) pour chacun des exercices de navigation demandé ;
- l'utilisation du regroupement des stratégies en quatre catégories : stratégie de réponse, stratégie de comptage, stratégie mixte et autres stratégies (répartition du pourcentage de participants en fonction des tranches d'âges).

4.3 Résultats

4.3.1 Q.3.1. Les stratégies déclarées être mises en oeuvre par l'ensemble des participants, quelle que soit leur âge, diffèrent-elles en fonction de la complexité des exercices de navigation demandés ?

➤ *Analyses descriptives*

Le Tableau 9.10 présente l'ensemble des stratégies que les participants des deux groupes constitués déclarent avoir mobilisé pour réaliser les exercices de navigation. Ainsi, par ordre d'utilisation, sont reprises dans la colonne de droite, les stratégies déclarées par les participants ayant réalisés les parcours de « reproduction ». Par ordre d'utilisation, également, sont présentées, dans la colonne de gauche, les stratégies déclarées avoir été mobilisées par les participants lors des exercices de navigation par « décentration ». On remarque que les stratégies déclarées par les participants, qui ont effectué les exercices de navigation par « reproduction », ont également été déclarées être utilisées par les participants qui ont réalisé les exercices de navigation par « décentration ». Si l'ensemble des stratégies est commune aux deux groupes, l'ordre d'utilisation des stratégies n'est pourtant pas identique. Il apparaît, en effet, que la première stratégie à avoir été déclarée par les participants du groupe « reproduction » est la stratégie de réponse et que la deuxième stratégie déclarée est la stratégie de comptage. Pour le groupe de participants qui ont effectué les exercices de navigation par « décentration », l'ordre est inversé. La première stratégie à avoir été déclarée être mobilisée est la stratégie de comptage. S'en suit la stratégie de réponse. Il apparaît également que la stratégie kinesthésique a été davantage utilisée lors des exercices de « décentration » que lors des exercices de « reproduction ». Ceci peut être expliqué par le fait que les participants ont de plus grandes difficultés à restituer, en sens inverse, les informations spatiales mémorisées et qu'ils préfèrent alors s'appuyer sur les aspects plus

kinesthésiques (mouvement du poignet). Alors que les données issues des entretiens cognitifs menés ont, dans un premier temps, permis de s'apercevoir que les plus jeunes participants parviennent difficilement à énoncer les directions « droite » et « gauche » lors de la navigation par « reproduction ». Dans un second temps, pour les parcours de « décentration », cette difficulté s'accroît puisque l'ensemble des informations retenues doivent être restituées à l'envers (ainsi, si le participant mémorise la suite « droite, 2^e à gauche, 3^e à droite », lors de la réalisation du parcours en sens inverse, il doit effectuer la suite « tourner à gauche, 3^e à droite, 2^e à droite »). Ainsi, plusieurs participants ont déclaré ne pas avoir mémorisé une suite de directions mais plutôt se souvenir des gestes effectués pour refaire le chemin en sens inverse.

Tableau 9.10 – Stratégies déclarées utilisées lors des exercices de « reproduction » et de « décentration » (par ordre de fréquence d'utilisation)

Reproduction	Ordre de fréquence d'utilisation des stratégies déclarées par les participants	Décentration
Stratégie de réponse	1	Stratégie de comptage
Stratégie de comptage	2	Stratégie de réponse
Stratégie mixte (strat. de réponse et strat. de comptage)	3	Stratégie mixte (strat. de réponse et strat. de comptage)
Strat. de comptage et élaboration de cartes cognitives	4	Strat. de comptage et élaboration de cartes cognitives
Strat. de réponse et souvenir des gestes effectués	5	Strat. de réponse et souvenir des gestes effectués
Strat. de réponse et élaboration de cartes cognitives	6	Souvenir des gestes effectués (kinesthésie)
Strat. de comptage et souvenir des gestes effectués	7	Strat. de comptage et souvenir des gestes effectués
Souvenir des gestes effectués (kinesthésie)	8	Strat. de réponse et élaboration de cartes cognitives
Elaboration de cartes cognitives	9	Elaboration de cartes cognitives

Alors que les stratégies déclarées être utilisées par les participants des deux groupes sont identiques, on s'intéresse à présent à la différence de pourcentages de participants qui ont déclaré avoir mobilisé une stratégie pour effectuer l'un des deux exercices demandés. Pour une plus grande lisibilité, les stratégies sont ici regroupées en

catégories : Stratégie de réponse, Stratégie de comptage, Stratégie mixte ou Autres stratégies (Figure 9.5).

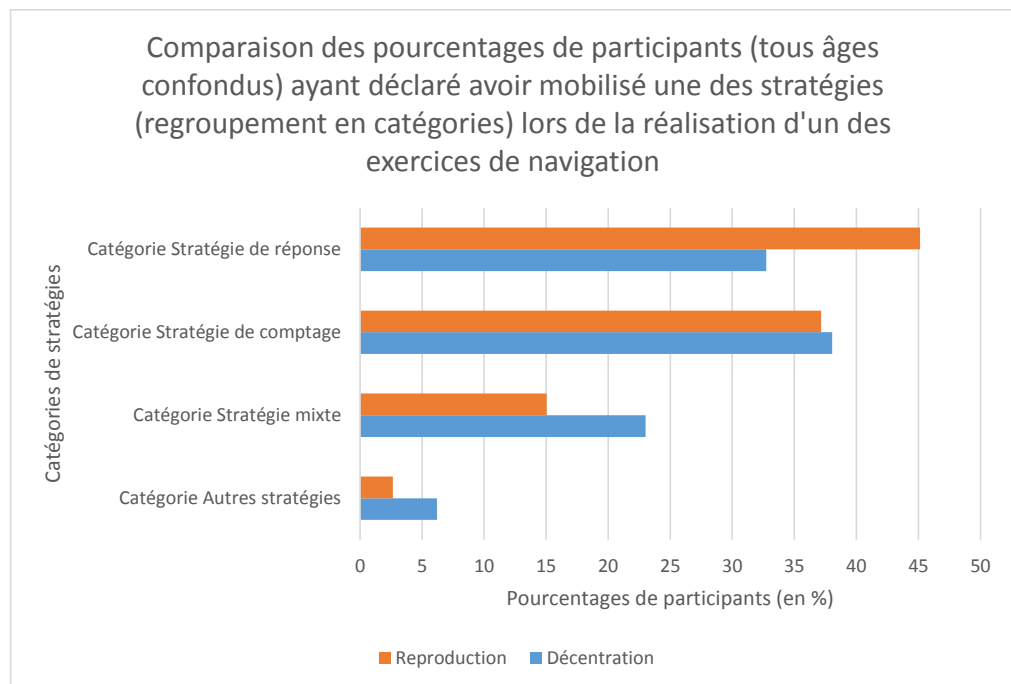


Figure 9.5 – Statistiques descriptives concernant les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une catégorie de stratégies lors des exercices de navigation par « reproduction » ou « décentration »

À la lecture de la Figure 9.5, il apparaît que la catégorie stratégie de réponse est davantage mobilisée par les participants qui ont réalisé les exercices de navigation par « reproduction » (45,1% de participants) que par les participants ayant réalisé les exercices de navigation par « décentration » (32,7% de participants). En ce qui concerne la catégorie de comptage, les participants déclarent l'avoir utilisée dans les mêmes proportions quel que soit l'exercice demandé (37,1% des participants qui ont effectué les parcours de « reproduction et 38% des participants qui ont réalisé les parcours de « décentration »). Pour ce qui est de la catégorie stratégie mixte, un plus grand nombre de participants provenant du groupe « décentration » (23% de participants) déclare avoir employé cette stratégie alors que 15% des participants ayant réalisé les parcours de « reproduction » disent l'avoir utilisée. Concernant la catégorie autres stratégies, 6,2% des participants du groupe « décentration » affirment avoir opté pour une stratégie kinesthésique alors que seuls 2,6% des participants du groupe « reproduction » disent l'avoir utilisée.

➤ *Analyses inférentielles*

Afin de vérifier, du point de vue de la statistique inférentielle, que les différences de pourcentages de stratégies déclarées par les participants dépendent des exercices de navigation réalisés, des χ^2 ont été calculés (Tableau 9.11). Seul un résultat à la limite de la significativité ressort de l'analyse ($\chi^2 = 3,648$; $p = .056$ pour la catégorie stratégie de réponse). Les stratégies déclarées être mobilisées lors de la réalisation des deux exercices de navigation n'apparaissent pas comme étant significativement différentes.

Tableau 9.11 – Statistiques inférentielles relatives aux stratégies déclarées être utilisées lors des exercices de « reproduction » et de « décentration »

Stratégie*exercices de navigation	Statistique χ^2	<i>P</i>
Stratégie de réponse	3,648	.056
Stratégie de comptage	0,019	.891
Stratégie mixte	2,326	.127
Autres stratégies	1,674	.196

4.3.2 Q.3.2. Peut-on remarquer des différences concernant les stratégies déclarées avoir été utilisées pour la réalisation de chacun des exercices demandés pour chacune des tranches d'âges ?

➤ *Analyses descriptives*

Les graphiques proposés ci-dessous (Figure 9.6, Figure 9.7, Figure 9.8, Figure 9.9) présentent les pourcentages de participants, répartis par tranches d'âges, qui ont déclaré avoir utilisé une des stratégies (regroupées par catégorie) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration".

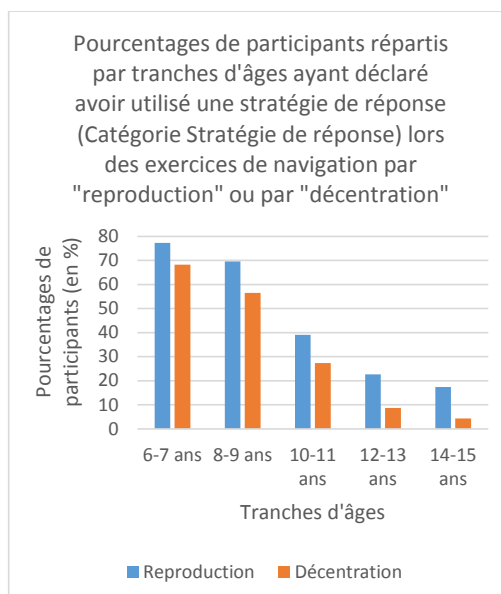


Figure 9.6 - Pourcentages de participants répartis par tranches d'âges ayant déclaré avoir utilisé une stratégie de réponse (Catégorie Stratégie de réponse) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration"

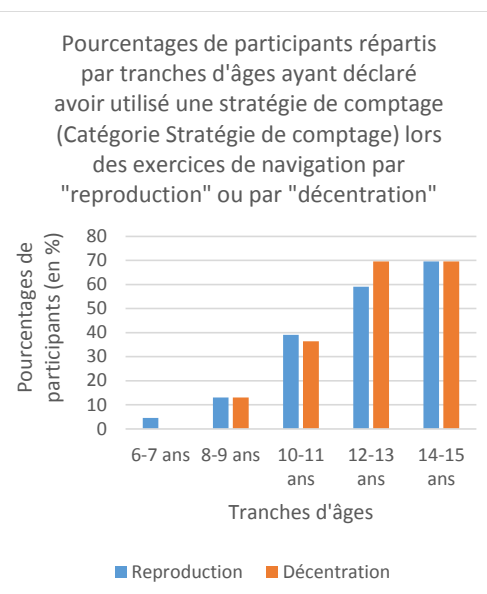


Figure 9.7 - Pourcentages de participants répartis par tranches d'âges ayant déclaré avoir utilisé une stratégie de comptage (Catégorie Stratégie de comptage) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration"

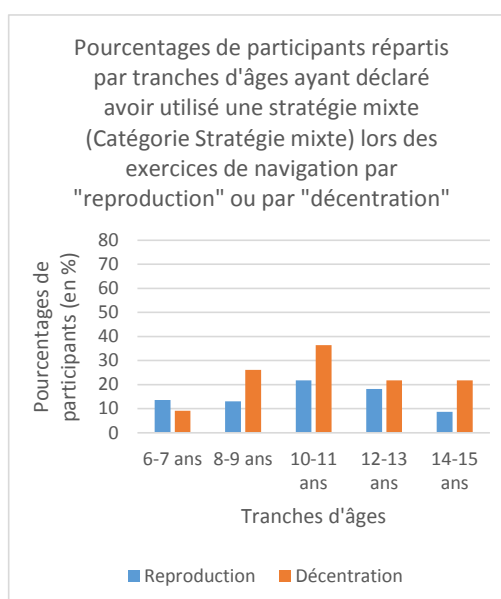


Figure 9.8 - Pourcentages de participants répartis par tranches d'âges ayant déclaré avoir utilisé une stratégie mixte (Catégorie Stratégie mixte) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration"

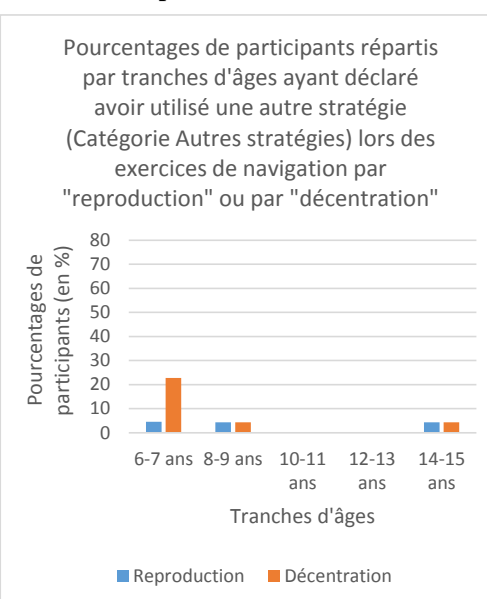


Figure 9.9 - Pourcentages de participants répartis par tranches d'âges ayant déclaré avoir utilisé une autre stratégie (Catégorie Autres stratégies) lors des exercices de navigation par "reproduction" ou par "décentration"

La lecture de la Figure 9.6 permet de remarquer que, quel que soit l'âge, la catégorie Stratégie de réponse est davantage déclarée être utilisée pour les exercices de « reproduction » que pour les exercices de « décentration ». En ce qui concerne la catégorie Stratégie de comptage (Figure 9.7), on constate quelques différences d'utilisation en fonction des exercices demandés âges. Ainsi, si à l'âge de 6-7 ans, un faible pourcentage (4,5%) de participants a déclaré avoir utilisé une stratégie de comptage pour la réalisation d'exercices de « reproduction », aucun participant n'a déclaré s'en être servi pour effectuer les exercices de « décentration ». Le même pourcentage de participants, âgés de 8-9 ans, déclare utiliser la stratégie de comptage quel que soit l'exercice demandé. À l'âge de 10-11 ans, un pourcentage plus important de participants déclare utiliser la stratégie de comptage pour effectuer les exercices de « reproduction » (39,1% des participants) que pour réaliser les exercices de « décentration » (36,4% des participants). *A contrario*, les participants âgés de 12-13 ans sont moins nombreux à déclarer se servir de stratégie de comptage lors des exercices de navigation par « reproduction » (59,1% des participants) que lorsqu'ils réalisent les exercices de « décentration » (69,6% des participants). À l'âge de 14-15 ans, les pourcentages de participants qui déclarent utiliser une stratégie de comptage pour les exercices de « reproduction » ou de « décentration » sont sensiblement identiques. En ce qui concerne la catégorie Stratégie mixte (Figure 9.8), on remarque que les participants âgés de 6-7 ans déclarent davantage user d'une stratégie mixte lors des exercices de « reproduction » (13,6% de participants) que lors des exercices de « décentration » (9,1% de participants). Les participants plus âgés déclarent, quant à eux, davantage utiliser la stratégie mixte lors des exercices de navigation par « décentration » que lors des exercices de navigation par « reproduction ». Enfin, concernant la catégorie Autres stratégies (Figure 9.9), on remarque qu'un pourcentage important de participants âgés de 6-7 ans déclare utiliser une stratégie kinesthésique lors des exercices de navigation par « décentration » (22,7% des participants) alors que peu d'entre eux déclarent l'avoir utiliser lors des exercices de navigation par « reproduction » (4,5% des participants).

➤ Analyses inférentielles

Afin de voir apparaître des différences significatives de pourcentages de stratégies déclarées en fonction des exercices de navigation demandés, pour chacune des tranches d'âges considérées, des χ^2 ont été calculés. Aucun d'entre eux ne s'est révélé être significatif. Ainsi, on peut affirmer qu'il n'existe pas de différence significative entre

les stratégies déclarées être mobilisées dans les exercices de navigation par « reproduction », par les participants d'une tranche d'âge donnée, et les stratégies déclarées être mobilisées dans les exercices de navigation par « décentration » par les participants, pour cette même tranche d'âge. En d'autres termes, quelle que soit la tranche d'âges considérée, les stratégies déclarées être utilisées pour les deux exercices de navigation proposés ne sont pas significativement différentes.

4.4 Synthèse des résultats

Le tableau suivant (Tableau 9.12) synthétise les résultats concernant la comparaison des deux premières expérimentations réalisées.

Tableau 9.12 – Synthèse des résultats portant sur la comparaison des stratégies déclarées avoir été mobilisées lors des deux premières expérimentations

Q.3.1.	Les stratégies déclarées être mises en oeuvre par l'ensemble des participants, quelle que soit leur âge, différent-elles en fonction de la complexité des exercices de navigation demandés ?	Non	Bien que des différences de stratégies déclarées mises en œuvre par les participants en fonction des exercices demandés (« reproduction » vs « décentration ») aient été relevées lors de l'analyse descriptive, ces différences n'ont pas été confirmées du point de vue de la statistique inférentielle. Ainsi, les stratégies déclarées être mobilisées lors de la réalisation des deux exercices de navigation n'apparaissent pas comme étant significativement différentes. Seul un résultat, concernant l'utilisation de la Stratégie de réponse, est apparu à la limite de la significativité ($\chi^2 = 3,648$; $p = .056$).
Q.3.2.	Peut-on remarquer des différences concernant les stratégies déclarées avoir été utilisées pour la réalisation de chacun des exercices demandés, pour chacune des tranches d'âges ?	Non	Aucune des différences mises en évidence lors de l'analyse descriptive, ne s'est vue confirmée par la statistique inférentielle. Ainsi, on peut affirmer que, quelle que soit la tranche d'âges considérée, les pourcentages de participants déclarant avoir utilisé une des stratégies pour les deux exercices de navigation proposés ne sont pas significativement différents.

5 Expérimentation 3 : Impact du changement de pourcentage de la coloration du bâti sur les stratégies déclarées être mobilisées lors des exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity

5.1 Question de recherche

Après avoir comparé les stratégies déclarées être mobilisées par les participants dans deux exercices de navigation différents, on s'intéresse ici à l'influence du changement de pourcentages de coloration du bâti sur les stratégies déclarées être mobilisées, lors d'exercices de navigation par « reproduction ». La question de recherche principale, qui est ici posée, est la suivante :

- Q.4. Le changement de coloration du bâti influence-t-il les stratégies déclarées être mises en œuvre par les participants, lors de la réalisation d'exercices de navigation par « reproduction » ?

Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, trois sous-questions sont posées :

- Les stratégies déclarées être mobilisées dépendent-elles du pourcentage de coloration du bâti de la ville dans laquelle sont effectués les parcours de « reproduction » ? (S-Q.4.1.)
- Existe-t-il des différences de stratégies déclarées en fonction du pourcentage de coloration du bâti, pour chacun des parcours ? (S-Q.4.2.)
- Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les stratégies déclarées être utilisées, par les participants ? (S-Q.4.3.)
- Existe-t-il des différences de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées être mobilisées, par les participants lors des exercices de navigation proposés dans des villes présentant un pourcentage de coloration du bâti différent ? (S-Q.4.4)

5.2 Rappel de l'expérimentation 3 & de l'échantillon

Pour cette expérimentation, les participants étaient amenés à reproduire des parcours (exercices de navigation par « reproduction ») dans V-Squarecity. Contrairement aux expérimentations précédentes lors desquelles le pourcentage de coloration du bâti des villes était fixé à 25%, il est ici question de proposer aux participants de reproduire des parcours dans des villes caractérisées par un pourcentage de coloration du bâti différent. Trois villes présentant un pourcentage de coloration différent du bâti ont donc été générées. Très concrètement, cela signifie que 25%, 40% ou 90% des bâtiments présents dans V-Squarecity sont de couleur rouge, bleue, verte, jaune, bleue turquoise et magenta. Le placement de ces bâtiments colorés, qui peuvent ou non servir de points de repères, a été déterminé de manière aléatoire.

Pour rappel, l'expérimentation est menée en deux temps (Tableau 9.13). Dans un premier temps, les participants effectuent une première série de parcours dans une ville caractérisée par un certain pourcentage de coloration (soit 25%, 40% ou 90% de coloration). Dès que les cinq premiers parcours sont réalisés, un premier entretien cognitif est mené. Dans un second temps, ces mêmes participants réalisent une deuxième série de parcours dans une ville caractérisée par un pourcentage de coloration différent (soit 25%, 40% ou 90% de coloration). Dès que les parcours de la deuxième série sont effectués, un second entretien cognitif est réalisé. L'expérimentation porte sur 5 paires de parcours présentant des différences de complexité : le parcours 5_2 (P 5_2) ; le parcours 13_2 (P 13_2) ; le parcours 7_4 (P 7_4) ; le parcours 13_4 (P 13_4) et le parcours 7_2 (P 7_2). L'ordre de passage des parcours a été déterminé de façon aléatoire pour chacune des séries de parcours, et tous les participants ont effectué ces parcours dans le même ordre.

Tableau 9.13 – Parcours de navigation par « reproduction », proposés lors de la troisième expérimentation

	Première série de parcours						Deuxième série de parcours					
	P 5_2	P 13_2	P 7_4	P 13_4	P 7_2		P 13_2	P 5_2	P 13_4	P 7_4	P 7_2	
N = 15	25%	25%	25%	25%	25%	Premier entretien cognitif	40%	40%	40%	40%	40%	Second entretien cognitif
N = 15	25%	25%	25%	25%	25%		90%	90%	90%	90%	90%	
N = 15	40%	40%	40%	40%	40%		25%	25%	25%	25%	25%	
N = 15	40%	40%	40%	40%	40%		90%	90%	90%	90%	90%	
N = 15	90%	90%	90%	90%	90%		25%	25%	25%	25%	25%	
N = 15	90%	90%	90%	90%	90%		40%	40%	40%	40%	40%	

La partie « Résultats », de cette troisième expérimentation, porte sur les données recueillies auprès de 90 participants, âgés entre 10 et 12 ans. Il a été choisi de se concentrer sur les participants de cet âge étant donné que, comme cela a été montré dans les deux sections précédentes, ces derniers se situent à un âge caractérisé par un changement de stratégies.

5.3 Les données utilisées

Les données utilisées, servant à répondre aux questions posées, proviennent des deux entretiens cognitifs menés auprès des participants (voir 3.2 Les données issues des entretiens cognitifs). Chaque participant était donc interrogé individuellement à propos des stratégies employées après la réalisation de chaque série de parcours. Pour le premier entretien mené, la présentation des résultats porte sur les réponses fournies à la question suivante :

- « Comment t'y es-tu pris pour reproduire le parcours (en sens inverse) dans la ville sans les balises/points bleu(e)s ? ».

Lors du second entretien, la question précédemment mentionnée est également posée. Afin de savoir si le participant s'est rendu compte du changement de pourcentage de coloration du bâti, la question suivante est aussi posée :

- « As-tu remarqué quelque chose de particulier à propos de la ville? ».

Dans la partie « Résultats », toutes les données concernant les stratégies mobilisées par les participants ont été regroupées en catégories. Ces catégories sont les mêmes que pour

les deux sections précédentes. Ainsi, sont distinguées, les catégories suivantes : Stratégie de réponse, Stratégie de comptage, Stratégie mixte et Autres stratégies.

Pour répondre aux questions posées, les données suivantes ont été utilisées :

- les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie (catégorie) lorsqu'ils ont effectué des parcours dans des villes comportant 25%, 40% ou 90% de coloration de bâti, indépendamment de la série de parcours réalisée. Ainsi, concrètement, on ne tient ici compte que des stratégies dites être utilisées lors de la navigation dans une ville présentant un certain pourcentage de coloration du bâti (quels que soient les parcours nPD_nPI réalisés et quelle que soit la série de parcours (1 ou 2) effectuée) (S-Q.4.1.) ;
- les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie (catégorie) lorsqu'ils ont effectué des parcours dans des villes comportant 25%, 40% ou 90% de coloration de bâti pour chaque parcours caractérisé par un nPD et un nPI (parcours d'une complexité différente). Concrètement, on prend ici en considération les stratégies déclarées être utilisées pour chacun des parcours réalisés dans une ville présentant un certain pourcentage de coloration du bâti (S-Q.4.2.) ;
- les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie (catégorie) lorsqu'ils ont effectué la première série de parcours dans des villes comportant 25%, 40% ou 90% de coloration de bâti et les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie lorsqu'ils ont effectué la seconde série de parcours dans des villes comportant un autre pourcentage de coloration de bâti. Concrètement, on prend ici en considération les stratégies déclarées être utilisées lors de la première série de parcours réalisés dans une ville présentant un certain pourcentage de coloration du bâti et les stratégies déclarées être utilisées après avoir réalisé la seconde série d'exercices dans une ville présentant un autre pourcentage de coloration (S-Q.4.3.).
- les pourcentages de réussite ainsi que les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie (catégorie), indépendamment de la série d'exercices réalisée (S-Q.4.4.).

5.4 Résultats

5.4.1 S-Q.4.1. Les stratégies déclarées être mobilisées dépendent-elles du pourcentage de coloration du bâti de la ville dans laquelle sont effectués les parcours de « reproduction » ?

➤ Analyses descriptives

Pour répondre à cette question, on ne prend pas ici en considération l'information concernant la série de parcours réalisée ni les parcours définis en nPD_nPI. Ainsi, indépendamment des séries et des parcours effectués, on s'intéresse ici aux stratégies déclarées avoir été mobilisées dans la ville présentant un pourcentage de coloration du bâti différent. Le graphique, présenté en Figure 9.10, reprend les pourcentages de participants qui ont déclaré avoir utilisé une des stratégies lorsqu'ils étaient amenés à effectuer des parcours de « reproduction » dans une ville présentant 25%, 40% ou 90% de coloration du bâti.

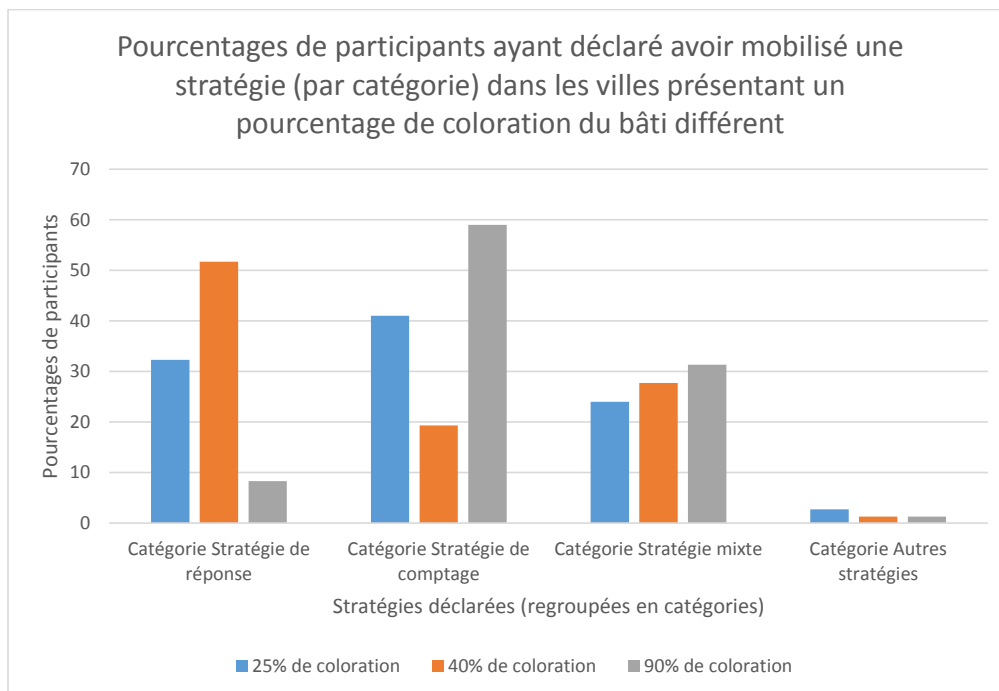


Figure 9.10 - Pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie (par catégorie) dans les villes présentant un pourcentage de coloration du bâti différent

En parcourant la Figure 9.10, il apparaît que la Stratégie de réponse (catégorie) est davantage déclarée être utilisée par les participants qui ont navigué dans la ville présentant 40% de coloration du bâti (51,7% des participants). On remarque ensuite que cette stratégie est utilisée par 32,3% des participants qui ont effectué les parcours dans une ville présentant 25% de coloration. Seuls 8,3% des participants, ayant navigué dans une ville comportant 90% de coloration du bâti, ont déclaré avoir utilisé une stratégie de réponse pour effectuer les exercices demandés. Concernant la Stratégie de comptage, il apparaît qu'un pourcentage important de participants (59% des participants) ont déclaré l'avoir mobilisée pour naviguer dans la ville colorée à 90%. Pour la ville colorée à 25%, 41% des participants disent avoir utilisé une stratégie de comptage. Enfin, moins de 20% des participants (19,3%), ayant navigué dans la ville colorée à 40%, disent également avoir utilisé cette stratégie. Pour ce qui est de la Stratégie mixte, on remarque une augmentation de son utilisation déclarée au fur et à mesure de l'augmentation du pourcentage de coloration du bâti. Ainsi, si 24% des participants disent utiliser cette stratégie, dans une ville présentant 25% de coloration, ils sont 27,7% à dire l'utiliser dans une ville colorée à 40% et 31,3% à déclarer y avoir recours, dans une ville comportant 90% de coloration. En ce qui concerne la catégorie Autres stratégies, celle-ci est peu employée, quel que soit le pourcentage de coloration du bâti.

➤ *Analyses inférentielles*

L'analyse descriptive a permis de mettre en évidence des différences de stratégies déclarées en fonction des pourcentages de coloration du bâti. Afin de confirmer ces différences, un χ^2 a été calculé. Celui-ci est très significatif ($\chi^2 = 156,288$; $p = .000$). Ainsi, on peut affirmer que les stratégies déclarées être mobilisées par les participants dépendent significativement des pourcentages de coloration du bâti de V-Squarecity.

5.4.2 S-Q.4.2. Existe-t-il des différences de stratégies déclarées en fonction du pourcentage de coloration du bâti pour chacun des parcours ?

➤ *Analyses descriptives*

Il est ici question de considérer les parcours réalisés (indépendamment de la série dont ils sont issus) dans des villes présentant un pourcentage de coloration différent afin de remarquer d'éventuelles différences de stratégies déclarées. Ainsi, la Figure 9.11 reprend, en abscisse, les cinq parcours réalisés dans des villes présentant un pourcentage

de coloration de 25%, 40% et 90% et, en ordonnée, les pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies (regroupées en catégories).

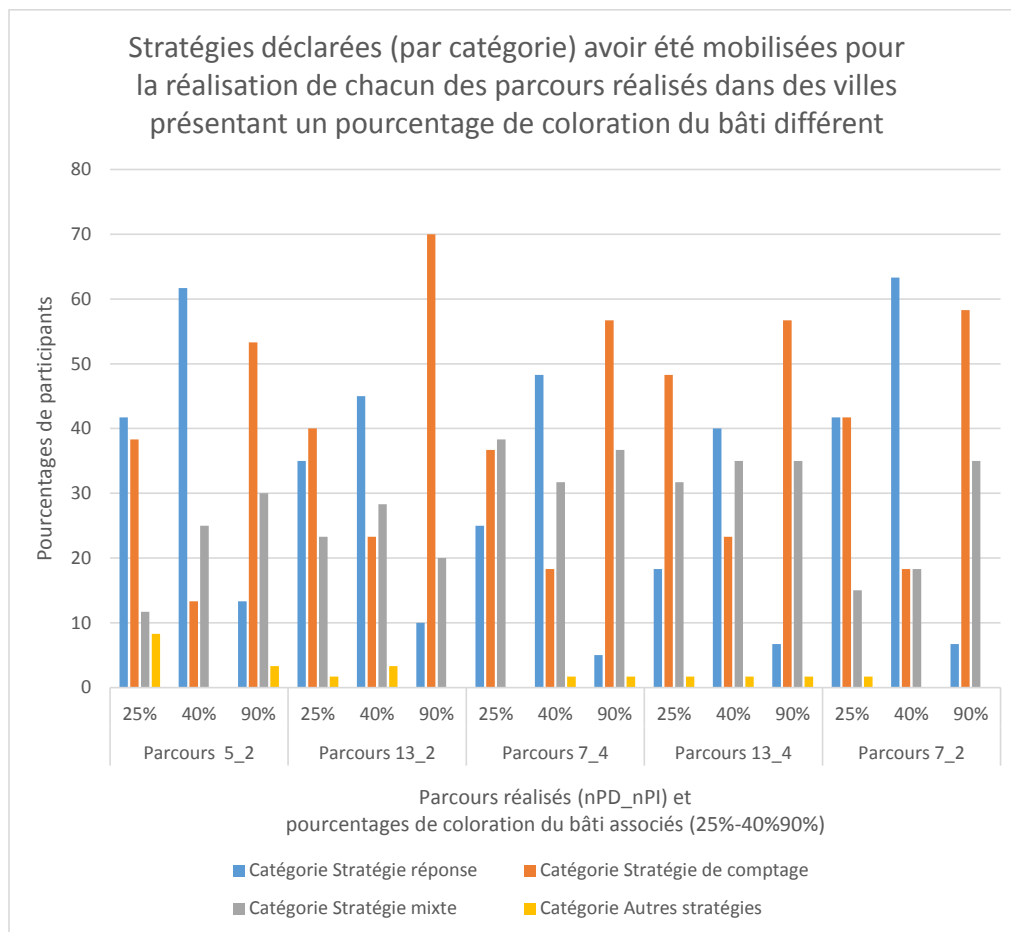


Figure 9.11 - Stratégies déclarées (par catégorie) avoir été mobilisées pour la réalisation de chacun des parcours réalisés dans une ville présentant un pourcentage de coloration du bâti différent

La lecture de la Figure 9.11 permet de remarquer que, quels que soient les parcours considérés, les stratégies déclarées être mobilisées dépendent globalement du pourcentage de la coloration du bâti des villes. Effectivement, il apparaît, par exemple, que pour l'ensemble des parcours réalisés dans la ville colorée à 90%, c'est la catégorie Stratégie de comptage qui a été déclarée être la plus utilisée. Pour l'ensemble des parcours réalisés dans des villes présentant un bâti coloré à 40%, c'est la catégorie Stratégie de réponse qui a été déclarée être la plus employée. Pour les parcours 5_2 et 7_2 réalisés dans des villes colorées à 90%, c'est la catégorie Stratégie mixte qui a été déclarée être utilisée par une majorité de participants. À côté de cela, on peut remarquer

que la catégorie Stratégie mixte est globalement davantage utilisée pour les parcours d'un niveau de complexité plus élevé (P 13-4 ; P 7_4).

➤ *Analyses inférentielles*

Le calcul de χ^2 permet de confirmer ou d'infirmer, du point de vue de la statistique inférentielle, les différences remarquées précédemment. Par la lecture du Tableau 9.14 contenant l'ensemble des χ^2 calculés, on peut affirmer que, quelle que soit la complexité des parcours considérés, les stratégies déclarées être mobilisées dépendent de manière significative du pourcentage de coloration du bâti de la ville.

Tableau 9.14 – Statistiques inférentielles relatives aux différences de stratégies déclarées avoir été utilisées dans des villes présentant des pourcentages de coloration du bâti différents

Stratégie*exercices de navigation	Statistique χ^2	<i>P</i>
Parcours 5_2	42,479	.000
Parcours 13_2	30,984	.000
Parcours 7_4	34,874	.000
Parcours 13_4m	24,419	.000
Parcours 7_2	46,689	.000

5.4.3 Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les stratégies déclarées être utilisées par les participants ? (S-Q.4.3.)

➤ *Analyses descriptives*

La Figure 9.12, présentée ci-dessous, reprend les pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies (catégorie) lors de la première série de parcours (%) et lors de la deuxième série de parcours (->%).

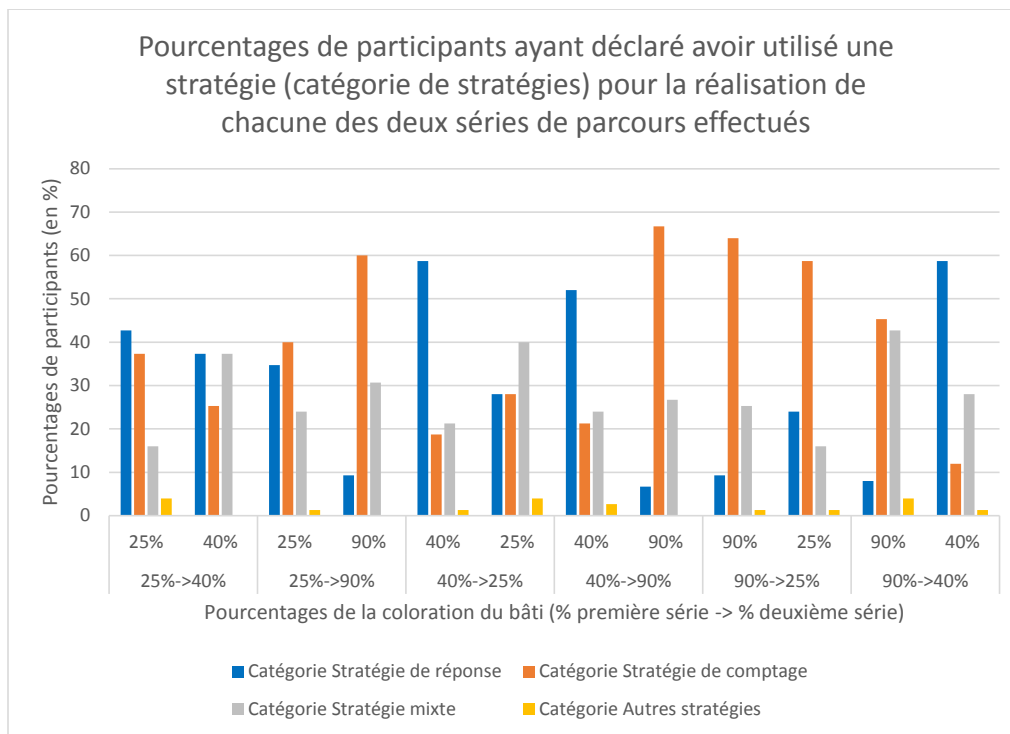


Figure 9.12 – Pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies lors de la réalisation de chacune des deux séries de parcours réalisés

En considérant chacune des séries de parcours proposées (X% -> X%), on peut voir apparaître, sur la Figure 9.12, des différences de pourcentages de participants ayant déclaré avoir utilisé une stratégie lors de la première série de parcours et lors de la deuxième série de parcours. Pour la série 25% -> 40%, on remarque que la stratégie de comptage est déclarée être utilisée par un pourcentage plus important de participants quand ceux-ci naviguent dans la ville colorée à 25% (37,3% de participants) que lorsqu'ils naviguent dans la ville colorée à 40% (25,3% des participants déclarent alors avoir utilisé une stratégie de comptage). A contrario, on remarque que la stratégie mixte est moins déclarée être utilisée dans la ville colorée à 25% (16% des participants) que dans la ville colorée à 40% (37,3% des participants). Pour ce qui est des parcours 25% -> 90%, il apparaît que la stratégie de comptage est déclarée être utilisée préférentiellement dans les deux séries. Néanmoins, on peut remarquer que cette stratégie est déclarée être utilisée par un plus petit pourcentage de participants quand ceux-ci naviguent dans la ville colorée à 25% que lorsqu'ils sont amenés à naviguer dans une ville colorée à 90% (40% des participants déclarent, en effet, utiliser une stratégie de comptage dans cette condition tandis qu'ils sont 60% à y avoir recours dans la ville colorée à 90%). En ce qui concerne la série 40% -> 25%, on remarque que la

majorité des participants (58,7%) déclarent avoir utilisé la stratégie de réponse dans la ville colorée à 40% alors qu'ils ne sont plus que 28% à dire l'utiliser lors des parcours réalisés dans la ville colorée à 25%. Concernant la série 40%->90%, on constate que 52% des participants qui naviguent dans la ville colorée à 40% disent avoir utilisé une stratégie de réponse alors qu'ils sont 21,3% à dire utiliser une stratégie de comptage. Par contre, dans la ville colorée à 90%, le constat est inverse. 66,7% des participants déclarent avoir employé la stratégie de comptage pour effectuer les parcours alors qu'ils ne sont que 6,7% à avoir utiliser la stratégie de réponse. Pour les séries 90%-25%, on remarque que la stratégie de comptage est déclarée être utilisée par la majorité des participants dans la ville colorée à 90% et dans celle colorée à 25%. La stratégie de réponse n'est, quant à elle, que peu déclarée par les participants ayant navigué dans la ville à 90% de coloration (9,3% des participants) alors qu'elle l'est davantage pour les participants qui ont navigué dans la ville colorée à 25% (24% des participants). Enfin, pour le parcours 90%->40%, les stratégies dominantes, déclarées être utilisées par les participants ayant navigué dans une ville présentant 90% de coloration, sont celles relatives à la catégorie Stratégie de comptage (45,3%) et à la catégorie Stratégie mixte (42,7%). La stratégie qui a davantage été déclarée être utilisée dans la ville présentant une coloration de 40% est la stratégie de réponse (58,7% des participants).

➤ *Analyses inférentielles*

Afin de confirmer ou infirmer les différences de stratégies déclarées en fonction du changement de pourcentages de coloration du bâti de la ville, des χ^2 ont été calculés. À l'exception d'un résultat (se trouvant à la limite de la significativité), tous les χ^2 s'avèrent significatifs (Tableau 9.15). Ainsi, on peut en conclure qu'à une exception près, les stratégies déclarées, mises en œuvre durant la première série de parcours, sont différentes des stratégies mises en œuvre lors de la deuxième série de parcours. Seules les stratégies déclarées être utilisées lors de la série 90%->25% ne sont pas considérées comme étant significativement différentes.

Tableau 9.15 – Statistiques inférentielles relatives aux stratégies déclarées avoir été utilisées dans des villes présentant des pourcentages de coloration différents

Stratégie*pourcentages de coloration	Statistique χ^2	<i>p</i>
25% de coloration → 40% de coloration	11,390	.007
25% de coloration → 90% de coloration	15,549	.000
40% de coloration → 25% de coloration	14,799	.001
40% de coloration → 90% de coloration	45,893	.000
90% de coloration → 25% de coloration	6,595	.053
90% de coloration → 40% de coloration	46,698	.000

5.4.4 S-Q.4.4 Existe-t-il des différences de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées être mobilisées par les participants, lors des exercices de navigation proposés dans des villes présentant un pourcentage de coloration du bâti différent ?

➤ *Analyses descriptives*

On cherche à présent à savoir quelles sont les stratégies déclarées être utilisées par les participants qui permettent à ces derniers de réaliser correctement les exercices demandés, dans des villes présentant un pourcentage de coloration du bâti différent.

Sur la Figure 9.13 sont présentés, en ordonnée, les pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies pour effectuer les parcours demandés. En abscisse, sont considérées les villes présentant un pourcentage de coloration différent (25%, 40% ou 90%). Un pourcentage de réussite élevé pour l'une des catégories de stratégies déclarées être utilisée signifie que la stratégie est considérée comme étant efficace pour réaliser les exercices demandés.

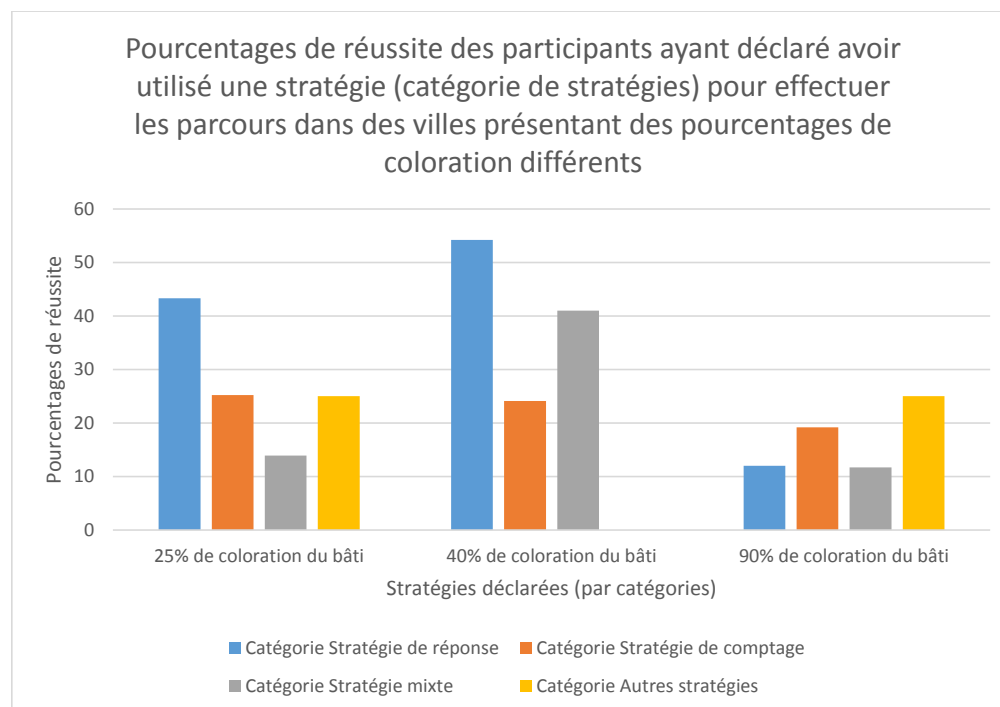


Figure 9.13 - Pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une stratégie pour effectuer les parcours dans des villes présentant des pourcentages de coloration différents

Pour la ville présentant 25% de coloration du bâti, la stratégie déclarée, qui est la plus efficace, est la stratégie de réponse (plus de 43% de réussite). Les stratégies de comptage (25,2% de réussite) et la stratégie kinesthésique (25% de réussite) sont, quant à elle, moyennement efficaces. La stratégie déclarée, qui s'avère la moins efficace, est la stratégie mixte (13,9% de réussite). Concernant la ville présentant 40% de coloration du bâti, on remarque que la stratégie déclarée la plus efficace est la stratégie de réponse (54,2% de réussite), suivie de la stratégie mixte (41% de réussite). La stratégie de comptage ne permet aux participants de n'atteindre qu'un pourcentage de réussite de 24,1%. Enfin, pour ce qui est de la ville présentant un pourcentage de coloration de 90%, on remarque qu'il y a peu de différence entre les pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies. Cependant, on remarque que les pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé la stratégie déclarée la plus efficace est la stratégie kinesthésique (25% de réussite). S'en suivent les stratégies de comptage (19,2% de réussite), de réponse (12% de réussite) et mixte (11,7% de réussite).

➤ *Analyses inférentielles*

Afin de confirmer l'existence de différences de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées avoir été mises en œuvre, des χ^2 ont été calculés pour chacun des pourcentages de coloration du bâti (Tableau 9.16). Il en résulte que, pour les villes colorées à 25% et à 40%, il existe des différences significatives de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées avoir été mobilisées pendant les exercices ($\chi^2 = 18,734$; $p = .000$ pour la ville à 25% de coloration ; $\chi^2 = 19,276$; $p = .000$ pour la ville à 40%). En ce qui concerne la ville présentant 90% de coloration, les différences existantes entre les pourcentages de réussite et les stratégies déclarées n'ont pas été confirmées statistiquement ($\chi^2 = 3,110$; $p = .375$).

Tableau 9.16 – Statistiques inférentielles relatives aux pourcentages de réussite des participants déclarant avoir utilisé une des stratégies pour naviguer dans des villes présentant un pourcentage de colorations de bâti différent

Stratégies*Pourcentages de réussite	Statistique χ^2	p
25% de coloration du bâti	18,734	.000
40% de coloration du bâti	19,276	.000
90% de coloration du bâti	3,110	.375

5.5 Synthèse des résultats de l'expérimentation 3

Le tableau suivant (Tableau 9.17) synthétise les résultats obtenus, relatifs aux stratégies déclarées pour la troisième expérimentation.

Tableau 9.17 – Synthèse des résultats portant sur les stratégies déclarées lors de l'expérimentation 3

S-Q.4.1.	Les stratégies déclarées être mobilisées dépendent-elles du pourcentage de coloration du bâti de la ville dans laquelle sont effectués les parcours de « reproduction » ?	Oui	Les stratégies déclarées être mobilisées dépendent du pourcentage de coloration du bâti de la ville ($\chi^2 = 156,288$; $p = .000$).
S-Q.4.2.	Existe-t-il des différences de stratégies déclarées en fonction du pourcentage de coloration du bâti pour chacun des parcours ?	Oui	Le calcul de χ^2 a permis de confirmer le fait que, quelle que soit la complexité du parcours proposé, les stratégies déclarées être mobilisées pour la réalisation des parcours demandés dépendent des pourcentages de coloration du bâti des villes.
S-Q.4.3.	Le changement de pourcentage de coloration du bâti influence-t-il les stratégies déclarées être utilisées par les participants ?	Oui	Les stratégies déclarées mises en œuvre durant la première série de parcours sont significativement différentes des stratégies mises en œuvre lors de la deuxième série de parcours. Seules les stratégies déclarées être utilisées lors de la série 90%->25% ne sont pas considérées comme étant significativement différentes ($\chi^2 = 6,595$; $p = .053$, à la limite de la significativité).
S-Q.4.4	Existe-t-il des différences de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées être mobilisées par les participants lors des exercices de navigation proposés dans des villes présentant un pourcentage de coloration du bâti différent ?	Oui et non	Il existe des différences significatives de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées avoir été mobilisées pendant les exercices pour les villes colorées à 25% et à 40%. En ce qui concerne la ville présentant 90% de coloration, les différences existantes entre les pourcentages de réussite et les stratégies déclarées n'ont pas été confirmées statistiquement.

6. Expérimentation 4 : Impact de l'utilisation combinée de V-Squarecity et V-Sinuosity sur les stratégies déclarées être mobilisées lors des exercices de navigation par « reproduction »

6.1 Questions

Cette section est consacrée à l'influence de l'irrégularité de l'environnement sur l'usage déclaré des stratégies de navigation. Comme le souligne Louail (2010), les villes américaines (environnement régulier) et européennes (environnement irrégulier) ont une organisation interne de l'espace et des géométries différentes. Les résultats relatifs aux stratégies déclarées avoir été utilisées lors de la navigation dans V-Squarecity, un environnement régulier, ont conduit à développer un second environnement dans lequel une stratégie de comptage était moins susceptible de permettre de résoudre, à elle seule, l'exercice donné (reproduire le chemin). Afin d'exercer les capacités d'orientation spatiale et de réellement mesurer les capacités de repérage des individus (Bohbot *et al.*, 2012), une seconde ville virtuelle (V-Sinuosity), définie selon un plan irrégulier, a donc été créée.

L'idée maîtresse est qu'en environnement régulier (V-Squarecity), le processus nécessitant le moindre effort, à un âge donné, consiste à synthétiser les informations à mémoriser sous la forme de chunks (stratégie de comptage) (Miller, 1956). Alors que pour un environnement irrégulier, ce choix s'avère moins efficace et amène à privilégier l'usage d'un processus spatial impliquant une mémorisation de repères spatiaux et leur organisation (stratégie de réponse). Les questions posées dans cette section sont les suivantes :

- S-Q.5.1. Les stratégies déclarées être utilisées par les participants pour effectuer les exercices de navigation dans V-Squarecity et V-Sinuosity sont-elles différentes ?
- S-Q.5.2. Existe-t-il des différences de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées être mobilisées par les participants, lors des exercices de navigation proposés dans des villes structurées différemment (V-Squarecity et V-Sinuosity) ?

6.2 Rappel de l'expérimentation 4 & de l'échantillon

L'expérimentation 4 porte sur la reproduction de parcours dans deux villes virtuelles : V-Squarecity et V-Sinuosity. Parmi les quatorze parcours demandés, deux autres sont effectués dans V-Sinuosity (Tableau 9.18) :

- le parcours avec 5 points de décision et 2 points d'inflexion (le parcours 8) ;
- le parcours avec 9 points de décision et 4 points d'inflexion (le parcours 11).

Des parcours possédant les mêmes caractéristiques (nPD_nPI) sont également réalisés dans V-Squarecity afin de pouvoir comparer les résultats. Le même pourcentage de coloration (25% de coloration du bâti) a été utilisé dans les deux villes. L'ordre de passage des parcours a été déterminé de façon aléatoire et tous les participants ont effectué les quatorze parcours dans le même ordre (de 1 à 14).

Tableau 9.18 - Parcours de « reproduction » ; réalisés dans V-Squarecity ou V-Sinuosity lors de l'expérimentation 4

Parcours de reproduction (par ordre de passage)	nPD	nPI	Villes (V-Squarecity/V-Sinuosity)
Parcours 1	5	2	V-Squarecity
Parcours 2	13	2	V-Squarecity
Parcours 3	7	4	V-Squarecity
Parcours 4	13	4	V-Squarecity
Parcours 5	7	2	V-Squarecity
Parcours 6	13	2	V-Squarecity
Parcours 7	9	4	V-Squarecity
Parcours 8	5	2	V-Sinuosity
Parcours 9	13	4	V-Squarecity
Parcours 10	7	4	V-Squarecity
Parcours 11	9	4	V-Sinuosity
Parcours 12	13	4	V-Squarecity
Parcours 13	7	2	V-Squarecity
Parcours 14	5	2	V-Squarecity

À la suite de chaque parcours réalisé, un bref entretien cognitif a été mené avec chacun des participants afin de prendre connaissance des stratégies qu'ils déclarent avoir mises en œuvre pour effectuer chacun des parcours demandés. La question suivante, commune à toutes les expérimentations, est posée :

- « Comment t'y es-tu pris pour reproduire le parcours (en sens inverse) dans la ville sans les balises/points bleu(e)s ? ».

Afin de savoir si le participant s'est rendu compte du changement de la structuration de la ville, une autre question est formulée :

- « As-tu remarqué quelque chose de particulier à propos de la ville ? » (cette question est posée à partir du deuxième parcours).

L'expérimentation a été menée auprès de 30 enfants âgés entre 10 et 12 ans, soit avec des participants situés dans une tranche d'âge où l'on n'observe pas encore de stratégies de préférence clairement établies (voir Résultats, Expérimentation 1 & Expérimentation 2). Concernant le recrutement des participants, les mêmes critères d'éviction que ceux utilisés pour les autres expérimentations ont été appliqués.

Les données utilisées dans la partie « Résultats » sont les suivantes :

- les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie (catégorie) lorsqu'ils ont effectué chaque parcours dans chacune des villes (une stratégie par parcours réalisé dans une ville) (S-Q.5.1.) ;
- les pourcentages de réussite ainsi que les pourcentages de participants ayant déclaré avoir mobilisé une stratégie (catégorie) pour chacun des parcours réalisés dans chacune des villes (S-Q.5.2.).

6.3 Résultats

6.3.1 S-Q.5.1. Les stratégies déclarées être utilisées par les participants pour effectuer les exercices de navigation dans V-Squarecity et V-Sinuosity sont-elles différentes ?

Les données, issues des entretiens cognitifs, rendent compte des stratégies que déclarent avoir utilisé les participants pour la réalisation des parcours dans les deux types de villes. La Figure 9.14, présentée ci-dessous, reprend les pourcentages de participants déclarant avoir mobilisé une stratégie (catégorie de stratégies) lors de la réalisation des parcours dans les deux villes.

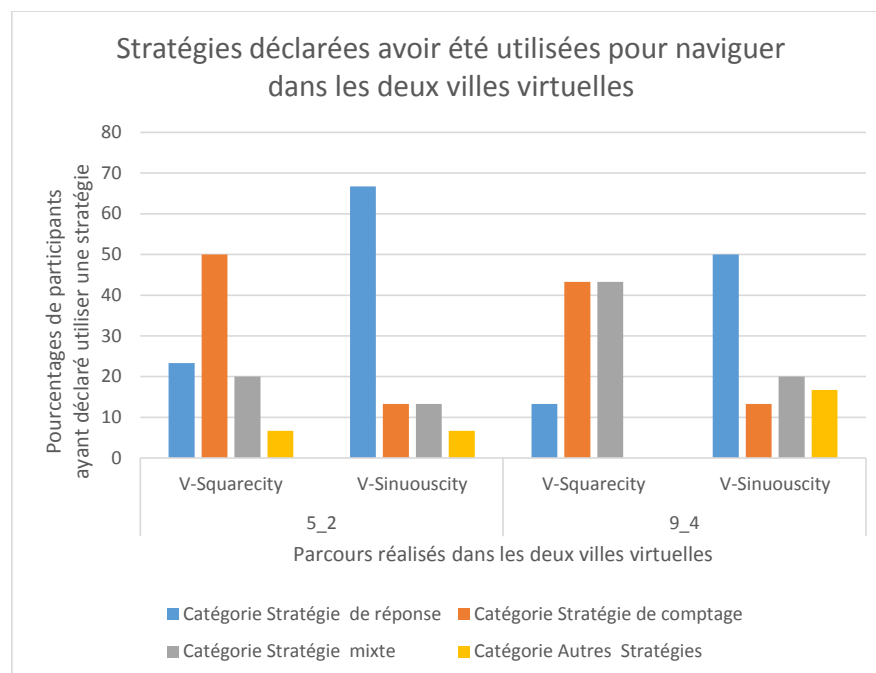


Figure 9.14 - Stratégies que déclarent avoir mis en œuvre les participants (%) pour réaliser les parcours dans V-Squarecity et V-Sinuosity

Pour le parcours avec 5 points de décision et 2 points d'inflexion (5_2), on remarque que, dans V-Squarecity, 50% des participants disent avoir recours à une stratégie de comptage, 23,3% participants déclarent utiliser une stratégie de réponse, 20% participants disent avoir eu recours à une stratégie mixte et 6,7% de participants ont dit mettre en place d'autres stratégies (kinesthésique). Pour le même parcours, dans V-Sinuosity, 66,7% des participants déclarent utiliser une stratégie de réponse tandis que 26,6% d'autres participants disent avoir utilisé une stratégie de comptage ou une stratégie mixte. 6,7% de participants ont opté pour l'utilisation d'autres stratégies. Pour le parcours avec 9 points de décision et 4 points d'inflexion (9_4), dans V-Squarecity, deux stratégies se dégagent des autres ; 43,3% des participants déclarent avoir eu recours à une stratégie de comptage et 43,3% d'autres participants disent avoir utilisé une stratégie mixte. Seuls 13,3% de participants déclarent avoir mis en œuvre une stratégie de réponse. Pour ce même parcours, dans V-Sinuosity, 50% des participants déclarent avoir employé une stratégie de réponse, 20% disent avoir utilisé une stratégie mixte, 16,7% des participants disent avoir eu recours à d'autres stratégies (élaboration de cartes cognitives, aide kinesthésique...) et 13,3% de participants ont utilisé une stratégie de comptage.

Afin de confirmer, du point de vue de la statistique inférentielle, les différences de pourcentages concernant l'utilisation de stratégies distinctes entre les deux villes, des χ^2 ont été calculés. Il apparaît que les stratégies déclarées être utilisées pour naviguer dans les deux villes sont significativement différentes ($\chi^2 = 13,028$; $p = .003$). Pour le parcours 5_2, on remarque une diminution significative de l'emploi de la stratégie de comptage par rapport aux autres stratégies (de réponse, mixte et autres) entre les deux villes ($\chi^2 = 9,320$; $p = .002$). En ce qui concerne le parcours 9_4, on remarque également une diminution significative de l'utilisation de la stratégie de comptage par rapport aux autres stratégies déclarées être utilisées entre les deux villes ($\chi^2 = 6,648$; $p = .010$).

Il est à noter que lors des entretiens menés, 60% des enfants ont spontanément déclaré s'être déplacés dans deux villes différentes (avant que l'expérimentateur ne pose la question). Après avoir posé la question : « As-tu remarqué quelque chose de particulier à propos de la ville? », 96,7% des participants interrogés ont déclaré avoir navigué dans deux villes différentes².

6.3.2 S-Q.5.2. Les stratégies déclarées être utilisées, par les participants, leur permettent-ils de réussir les exercices de navigation dans V-Squarecity et V-Sinuosity ?

Étant donné que les stratégies diffèrent en fonction de l'environnement utilisé, on cherche à présent à savoir si les stratégies déclarées être utilisées par les participants, dans les deux villes, leur permettent de réussir les exercices de navigation.

Dans le Tableau 9.19, sont présentés les pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une des stratégies pour effectuer les parcours demandés dans les deux villes. Étant donné la taille réduite de l'échantillon, sont également présentés les effectifs (nb de participants ayant réussi le parcours en déclarant avoir utilisé la stratégie/nb de participants ayant déclaré avoir utilisé la stratégie).

² Exemples de déclarations faites par les participants pour caractériser les différences entre V-Sinuosity et V-Squarecity : « les routes ne sont pas toutes droites » (le participant 10), « les angles entre les rues sont plus petits » (le participant 11), « il y a des changements par rapport à l'autre ville parce qu'ici, ce n'est pas une ville en carré » (le participant 23).

Tableau 9.19 - Pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une catégorie de stratégies lors de la réalisation des parcours dans les deux villes virtuelles

Parcours	Villes	Pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une stratégie de réponse	Pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une stratégie de comptage	Pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une stratégie mixte	Pourcentages de réussite des participants ayant déclaré avoir utilisé une autre stratégie
5_2	V-Square city	28,6% (2/7)	80% (12/15)	66,7% (4/6)	0% (0/6)
	V-Sinuoucity	95% (19/20)	25% (1/4)	75% (3/4)	100% (2/2)
9_4	V-Square city	0% (0/4)	15,4% (2/13)	7,7% (1/13)	0% (0/0)
	V-Sinuoucity	33,3% (5/15)	0% (0/4)	16,7% (1/6)	20% (1/5)

Pour le parcours 5_2, dans V-Squarecity, il apparaît que la stratégie déclarée, qui est la plus efficace, est la stratégie de comptage (12/15). S'en suit la stratégie mixte (4/6) puis la stratégie de réponse (2/7). Pour ce même parcours, dans V-Sinuoucity, la stratégie la plus souvent déclarée être utilisée et la plus efficace est la stratégie de réponse (19/20). Pour le parcours 9_4, dans V-Squarecity, la stratégie déclarée être la plus efficace est la stratégie de comptage (2/13) ; s'en suit la stratégie mixte (1/13). Pour ce même parcours, dans V-Sinuoucity, la stratégie la plus souvent déclarée être utilisée et la plus efficace est la stratégie de réponse (5/15). En outre, on peut remarquer que les performances des participants qui disent utiliser une stratégie de réponse dans V-Sinuoucity sont meilleures que les performances des participants qui disent utiliser une stratégie de comptage dans V-Squarecity.

Afin de tester la relation entre les stratégies déclarées et les pourcentages de réussite, pour les deux parcours réalisés dans chacune des villes considérées, des χ^2 ont été calculés (Tableau 9.20). Ceux-ci sont significatifs pour les parcours 5_2, réalisés dans les deux villes. Ainsi, il existe des différences significatives de pourcentages de réussite, en fonction des stratégies déclarées avoir été mobilisées pour les parcours 5_2, réalisés dans les deux villes ($\chi^2 = 8,492$; $p = .034$ pour le parcours 5_2 dans V-Squarecity ; $\chi^2 = 23,069$; $p = .000$ pour le parcours 5_2 dans V-Sinuoucity). En ce qui concerne les

autres parcours (9_2), les différences existantes entre les pourcentages de réussite et les stratégies déclarées n'ont pas été confirmées statistiquement.

Tableau 9.20 – Statistiques inférentielles relatives aux pourcentages de réussite des participants en fonction des stratégies déclarées avoir été mobilisées pour la réalisation de deux parcours dans des villes distinctes

Stratégies*Parcours	Villes	Statistique χ^2	<i>p</i>
Parcours 5_2	V-Squarecity	8,492	.034
	V-Sinuosity	23,069	.000
Parcours 9_4	V-Squarecity	1,014	.735
	V-Sinuosity	1,791	.855

6.4 Synthèse des résultats de l'expérimentation 4

Le tableau suivant (Tableau 9.21) synthétise les résultats obtenus relatifs aux stratégies déclarées pour la quatrième expérimentation.

Tableau 9.21 – Synthèse des résultats portant sur les stratégies déclarées lors de la quatrième expérimentation

S-Q.5.1.	Les stratégies déclarées être utilisées par les participants pour effectuer les exercices de navigation dans V-Squarecity et V-Sinuosity sont-elles différentes ?	Oui	Pour le parcours 5_2, on remarque une diminution significative de l'emploi de la stratégie de comptage par rapport aux autres stratégies entre les deux villes ($\chi^2 = 9,320$; $p = .002$). En ce qui concerne le parcours 9_4, on remarque également une diminution significative de l'utilisation de la stratégie de comptage par rapport aux autres stratégies entre les deux villes considérées ($\chi^2 = 6,648$; $p = .010$).
S-Q.5.2.	Existe-t-il des différences de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées être mobilisées par les participants, lors des exercices de navigation proposés dans des villes structurées différemment (V-Squarecity et V-Sinuosity) ?	Oui et non	Il existe des différences significatives de pourcentages de réussite en fonction des stratégies déclarées être mobilisées par les participants pour les parcours 5_2, réalisés dans V-Squarecity ($\chi^2 = 8,492$; $p = .034$) et V-Sinuosity ($\chi^2 = 23,069$; $p = .000$). Il n'est cependant pas apparu de différences significatives en fonction des stratégies déclarées être utilisées par les participants lorsque ceux-ci ont réalisés, dans les deux villes, les parcours 9_4.

7. Discussions du chapitre 9 (stratégies déclarées)

L'objectif principal de cette partie de chapitre était de s'interroger sur la construction des modèles spatiaux d'itinéraires chez l'enfant et l'adolescent, et de rendre compte des stratégies qu'ils utilisent pour réaliser des exercices de navigation distincts dans des situations différentes. Dans une perspective développementale, il était également question de rendre compte d'un éventuel changement de stratégies ou d'une éventuelle évolution des stratégies durant l'enfance ou l'adolescence.

Afin de prendre connaissance des stratégies utilisées par les participants lors de la réalisation des exercices de navigation demandés, des entretiens cognitifs ont été menés. Ces entretiens cognitifs sont basés sur la procédure de verbalisation (« verbal reports » ou « verbal protocols » en anglais). Bon nombre d'études se basent sur cette procédure afin de comprendre quelles sont les stratégies utilisées dans des tâches de navigation spatiale, que ce soit dans des environnements urbains ou à l'intérieur de bâtiments (Titus & Everett, 1996 ; Dogu & Erkip, 2000 ; Kato & Takeuchi, 2003 ; Chebat, Gelinac-Chebat & Therrien, 2005 ; Holscher et al., 2007 ; Meilinger, 2008). Si la verbalisation peut être simultanée à l'exécution des tâches, elle peut également être rétrospective (Spiers & Maguire, 2008 ; Tenbrinck, 2008 ; Tenbrinck, D'Odorico, Hertzberg, Mazman, Meneghetti, Reshoft & Yang, 2012). Durant la réalisation des exercices demandés, il s'est avéré impossible pour les plus jeunes participants de verbaliser simultanément leurs pensées ou de « penser à voix haute ». Il a donc été choisi de procéder à un entretien cognitif rétrospectif avec chacun des participants. Comme le mentionnent Ericsson & Simon (1980), le report verbal rétrospectif a un intérêt si l'objectif de l'expérimentateur est de s'intéresser aux caractéristiques générales du processus de pensées mis en œuvre lors de la réalisation d'une tâche plutôt qu'aux détails épisodiques qui y sont rattachés. Le but des entretiens cognitifs menés était de faire émerger une ou plusieurs stratégies de navigation utilisées pour reproduire des parcours dans les villes virtuelles et ne portait pas sur la restitution d'éléments plus spécifiques tels que l'ordre d'apparition des bâtiments, la fréquence d'apparition d'éléments dans l'environnement ou le type de bâtiments rencontrés. Conformément aux recommandations des auteurs précédemment cités, la verbalisation des stratégies a été effectuée directement après la réalisation des parcours, de manière à récupérer les informations stockées dans la mémoire de travail. En outre, les questions posées lors des entretiens étaient peu nombreuses et volontairement ouvertes afin de ne pas contraindre le sujet à déduire la manière dont il s'y est pris pour effectuer la tâche demandée mais

de manière à l'inciter à se souvenir des processus mentaux qu'il a mobilisés pour y parvenir. Alors qu'il a été choisi de présenter, dans le cadre de ce travail, les résultats relatifs à la technique de verbalisation, on a également testé la reconnaissance de scènes à partir d'un matériel non encore exploité (discrimination de photographies de l'environnement sur tablettes tactiles de façon à récupérer les temps de réaction). En outre, grâce à la plus-value technologique du matériel utilisé, il aurait été tout à fait envisageable de faire visionner au participant les séquences des parcours réalisées de façon à ce que ce dernier fournisse des explications plus précises quant aux choix qu'il a effectués lorsqu'il devait reproduire le chemin non balisé.

La première expérimentation portait sur la réalisation de treize exercices de navigation par « reproduction » dans V-Squarecity, l'environnement virtuel régulier. Suite à la réalisation de ces parcours de « reproduction », les participants âgés de 6 à 15 ans étaient invités à expliciter la/les stratégie(s) utilisée(s) pour la résolution des exercices demandés. Les résultats obtenus permettent de rendre compte de l'utilisation déclarée de neuf stratégies de navigation. Ces stratégies sont ici reprises par ordre de fréquence d'apparition : la stratégie de « réponse » (33,8% des participants), la stratégie de « comptage » (23,9% des participants), la stratégie « mixte » (15,2% de participants), la stratégie combinée « comptage*carte cognitive » (10,2% des participants), la stratégie combinée « réponse*carte cognitive » (4,4% des participants), la stratégie combinée « comptage*kinesthésique » (2,6% des participants), la stratégie kinesthésique (1,8% des participants) et, enfin, la stratégie relative à l'élaboration de cartes cognitives (<1% des participants).

La deuxième expérimentation a, quant à elle, porté sur la reproduction en sens inverse de parcours. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'utilisation des neuf mêmes stratégies employées lors des exercices de navigation par reproduction. Cependant, il a été remarqué que la stratégie la plus utilisée était la stratégie de comptage (28,3% des participants). Les stratégies de réponse et mixte étaient, quant à elles, déclarées être utilisées par 24,8% des participants (réponse) et par 23% des participants (mixte).

Les analyses ont permis de mettre en évidence des différences de stratégies déclarées en fonction des tranches d'âges, et ce quel que soit l'exercice réalisé. Les plus jeunes participants, âgés de 6-7 et 8-9 ans, déclarent avoir eu davantage recours à la stratégie de réponse alors que les participants plus âgés, de 12-13 ans et 14-15 ans, déclarent avoir mobilisé les stratégies de comptage. Pour ces deux stratégies, les différences ont été

confirmées par la statistique inférentielle. Les résultats sont cohérents par rapport aux propos de Nys *et al.* (2015) qui mentionnent que les plus jeunes enfants retrouvent leur chemin en basant leur stratégie sur l'utilisation exclusive de points de repères alors que les enfants plus âgés et les adultes utilisent, quant à eux, d'autres stratégies. On peut également faire un rapprochement avec les résultats de l'étude menée par Bohbot *et al.* (2012). En effet, ces derniers ont remarqué que, dans un environnement à bras radial, les enfants utilisent préférentiellement une stratégie « spatiale » (utilisation des points de repères) alors que les jeunes adultes et les adultes plus âgés font davantage référence à une stratégie requérant la numérotation ou le comptage des « bras » du labyrinthe. Ils ont rattaché ces différences à des composantes neurophysiologiques en montrant que les stratégies, basées sur l'utilisation de points de repères sont dépendantes de l'hippocampe tandis que les stratégies, basées sur le comptage sont dépendantes du noyau caudal, qui conduit à l'apprentissage à partir d'habitudes ou de répétitions (Orban *et al.*, 2006 ; Barnes *et al.*, 2005). Alors que les premières explications sont issues de la neurophysiologie, la psychologie développementale peut également éclairer les résultats présentés. Ainsi, la maturation du développement psycho-cognitif des enfants et adolescents permet d'expliquer certaines différences de stratégies mises en œuvre (Piaget & Inhelder, 1948). En lien avec ces aspects développementaux, Purser *et al.* (2012) indiquent que l'apprentissage d'un itinéraire par les enfants âgés de 5 à 12 ans dépend de leurs capacités cognitives générales (mémorisation, fonctions exécutives, connaissance du vocabulaire...). Ceci pourrait ainsi expliquer le fait que, lors des exercices demandés, les stratégies de comptage mises en œuvre étaient différentes en fonction de l'âge des participants. En effet, on a pu remarquer que si les adolescents développent des stratégies de type « 2e à droite, 3e à gauche », quand les plus jeunes enfants utilisent des stratégies de comptage, celles-ci sont moins élaborées et sont de type « 1 x tout droit, 1 x tout droit, 1 x tout droit, droite, 1 x tout droit, 1 x tout droit, gauche... ». Ceci est sûrement à rapprocher à la construction du nombre (Piaget & Szeminska, 1940 ; Piaget, 1960). De même, le fait que peu d'enfants de 6-7 ans et 8-9 ans développent des stratégies de comptage, peut être dû à la fragilité des connaissances relatives aux directions et à leur latéralité. Ainsi, un enfant qui ne parvient pas à verbaliser la direction prise ou une position de repères (gauche/droite) et qui retient des expressions du type (« j'ai été par là... puis par là... » ou « il y a un repère là... puis là... »), peut éprouver plus de difficultés à réussir les exercices demandés ou, en tout cas, amenuise ses possibilités de développer des stratégies efficaces, surtout si le parcours est à réaliser en sens inverse.

En outre, les résultats des deux premières expérimentations menées permettent de préciser qu'un changement de stratégies a lieu à l'âge de 10-11 ans. Alors que les autres études comparent les performances entre des enfants d'un âge donné et des adultes (Cohen & Schuepfer, 1980 ; Jansen-Osmann & Wiedenbauer, 2004 ; Mengue-Topio, 2011 ; Bohbot *et al.*, 2012 ; Nys *et al.*, 2015), la présente étude, menée dans une perspective développementale, a permis de mettre en évidence que c'est à l'âge de 10-11 ans que certains participants abandonnent l'utilisation d'une stratégie de réponse au profit d'une stratégie de comptage et que l'utilisation d'une stratégie mixte est, à ce moment, utilisée de façon importante.

Après s'être penché sur les stratégies déclarées être utilisées dans des exercices de navigation par reproduction et par décentration, un intérêt a été porté sur les stratégies déclarées être mises en œuvre dans des environnements réguliers, présentant un pourcentage de coloration du bâti différent. Cette troisième expérimentation est menée avec des participants âgés de 10 à 12 ans, c'est-à-dire auprès d'une population qui n'a pas encore de stratégies clairement établies. Il en résulte qu'en fonction du pourcentage de coloration du bâti, les stratégies déclarées être utilisées sont sensiblement différentes. Ainsi, lorsque la ville présente un pourcentage de repères colorés de 25%, les participants déclarent, en majorité, employer une stratégie de comptage. Lorsque la ville comporte 40% de repères, c'est une stratégie de réponse, basée sur l'utilisation des points de repères qui est utilisée. Enfin, lorsque la ville présente un pourcentage de repères de 90%, la stratégie de comptage est davantage utilisée. Ainsi, on se rend ici compte que les stratégies plus spatiales, c'est-à-dire celles requérant l'utilisation des repères présents dans l'environnement et/ou ceux basées sur les relations topologiques des repères dans l'environnement sont peu utilisées lorsque l'environnement présente trop de repères ou, dans une moindre mesure, pas assez de repères. Il semble ainsi que l'environnement le plus propice au développement des compétences spatiales est un environnement ne comportant ni trop, ni trop peu de repères.

Enfin, la dernière expérimentation menée a permis de rendre compte de l'influence de la structuration de l'environnement sur les stratégies déclarées être utilisées pour reproduire des itinéraires. Pour ce faire, deux environnements présentant une structuration différente (Louail, 2010) ont été utilisés : V-Squarecity, un environnement défini selon un plan régulier, et V-Sinuosity, un environnement défini selon un plan irrégulier. L'idée sous-jacente est que la reproduction d'itinéraires dans ces deux villes peut induire des stratégies de navigation différentes. Alors que pour effectuer les

exercices de navigation dans V-Squarecity, la stratégie déclarée être utilisée repose sur le comptage (chapitre 8), on a cherché ici à développer un second environnement, dans lequel une stratégie de comptage était moins susceptible de permettre, à elle seule, la résolution des exercices demandés. En d'autres termes, on cherchait ici à évaluer les capacités spatiales des participants et non pas leur capacité à stocker et organiser de l'information spatiale. Les résultats de cette expérimentation conduisent à remarquer que les enfants âgés de 10 à 12 ans disent privilégier le recours à une stratégie de réponse dans l'environnement irrégulier tandis qu'ils indiquent utiliser une stratégie de comptage dans l'environnement régulier. En outre, le rapport pourcentage de réussite/stratégie déclarée laisse apparaître que la stratégie la plus efficace pour reproduire un chemin dans V-Squarecity, est la stratégie de comptage. Dans V-Sinuosity, c'est la stratégie de réponse qui s'avère être la stratégie la plus efficace. Plusieurs auteurs effectuent la différence entre les stratégies spatiales et les stratégies verbales (i.e. Bacon *et al.*, 2008 ; Nys *et al.*, 2015). Les stratégies de réponse s'apparentent à des stratégies visuo-spatiales en ce sens qu'elles reposent sur des associations « stimulus-réponse » qui prennent en compte les repères de l'environnement et leurs emplacements. Les stratégies de comptage peuvent, quant à elles, être rapprochées des stratégies verbales (descriptions de l'itinéraire reposant sur l'organisation d'informations qui ne sont pas en lien avec les repères). Si, certains auteurs (Bacon *et al.*, 2008) mentionnent que ces deux stratégies sont liées à des facteurs cognitifs fondamentaux, on peut ici souligner le rôle de la structuration de l'environnement. Enfin, le fait que les enfants performent davantage dans des tâches de navigation qui reposent sur la prise en compte des repères (condition V-Sinuosity) plutôt que dans des tâches de navigation qui reposent sur l'encodage, le stockage et la restitution de données spatiales (plutôt développée dans V-Squarecity) sont cohérents avec les résultats trouvés dans la littérature. En effet, nombreux sont les auteurs (Bohbot *et al.*, 2012) à avoir mis en évidence le fait que les enfants plus jeunes préfèrent utiliser les stratégies spatiales dans la résolution des tâches au dépend d'autres stratégies.

Conclusions de la partie III

La navigation est une habileté spatiale essentielle pour l'individu. Si bon nombre d'études portent sur l'évaluation de cette habileté chez les enfants et adultes présentant un handicap, les jeunes adultes et les adultes plus âgés, peu d'entre elles étudient la construction des modèles spatiaux d'itinéraires chez l'enfant et l'adolescent non pathologiques (Nys *et al.*, 2015). Les expérimentations, ici menées, dans une perspective développementale, avaient donc pour objectif de contribuer à l'enrichissement des connaissances sur ce sujet.

Le travail poursuivait deux objectifs principaux. D'une part, il s'agissait d'identifier les paramètres qui influencent la complexité des tâches de navigation, aussi bien en termes d'exercices à réaliser qu'en termes d'environnements dans lesquels ces exercices ont été réalisés. D'autre part, il était question d'identifier les stratégies déclarées être mobilisées par les participants, lors de la réalisation des tâches de navigation dans diverses situations. En outre, il était également question de rendre compte des différences de performances et d'une éventuelle évolution de stratégie en fonction de l'âge des participants.

En vue d'atteindre les objectifs fixés, plusieurs expérimentations ont été menées à partir d'environnements virtuels prenant l'allure de villes. La réalité virtuelle s'est avérée ici être une technologie suffisamment flexible pour créer ces environnements dans lesquels l'entièreté des éléments étaient paramétrables. L'évaluation des compétences de navigation a été réalisée sur la base de tâches de reproduction d'itinéraires non-familiers dans des villes virtuelles simplifiées. Ont alors été considérées, comme résultats, les performances et les stratégies déclarées être utilisées durant les exercices demandés, au cours des quatre expérimentations proposées.

La première d'entre elles portait sur les exercices de navigation par reproduction dans un environnement régulier, V-Squarecity. Les participants, âgés de 6 à 15 ans, devaient alors reproduire à l'identique une série de treize itinéraires préalablement empruntés. La deuxième expérimentation reposait sur le même protocole mais visait la réalisation d'exercices de navigation par décentration. La troisième expérimentation, menée avec des participants âgés de 10 à 12 ans, portait sur des exercices de navigation par reproduction dans des environnements présentant des pourcentages de coloration du bâti différents (25%, 40% ou 90%). Deux séries de cinq parcours étaient alors à réaliser par chacun des participants, dans deux villes présentant un pourcentage de coloration de bâti

différent. La quatrième expérimentation, également menée avec des participants âgés de 10 à 12 ans, portait, quant à elle, sur la réalisation d'exercices de navigation par reproduction, dans deux villes différentes de par leur structuration : V-Squarecity et V-Sinuosity.

Les deux premières expérimentations menées indiquent, en premier lieu, que les exercices de reproduction d'itinéraires en environnement inconnu ne constituent pas une tâche spatiale évidente pour tous les enfants et adolescents, même si une amélioration sensible des performances en fonction de l'âge est remarquée. En second lieu, il a été montré que les performances diminuent davantage quand il s'agissait d'exercices de navigation par décentration en comparaison aux exercices de navigation par reproduction. Ainsi, il s'avère que les exercices de navigation par décentration sont d'une plus grande complexité que les exercices de navigation par reproduction. En troisième lieu, il a été mis en évidence que le pourcentage de réussite était inversement proportionnel à la longueur du parcours. En dernier lieu, il a été démontré que la complexité des différents exercices dépendait moins de la longueur des parcours que du nombre de points d'inflexion les définissant. Concernant les stratégies déclarées, on a pu mettre en évidence une prépondérance de la stratégie de réponse par rapport aux autres stratégies lors des exercices de navigation par reproduction. Lors des exercices de navigation par décentration, c'est la stratégie de comptage qui a été majoritairement déclarée être utilisée. Dans une perspective développementale, il a été montré que les stratégies mises en œuvre dépendent considérablement de l'âge des participants. Les plus jeunes enfants (6-7 ans et 8-9 ans) disent s'adonner à des stratégies de réponse tandis que les plus âgés (12-13 ans et 14-15 ans) déclarent utiliser une stratégie de comptage, plus économe. Pourtant, dans certains cas, comme cela a été illustré par le parcours 9_2, les participants qui mettent en place prioritairement des stratégies de réponse peuvent prendre l'ascendance sur les participants qui déclarent avoir recours à une stratégie de comptage. Ainsi, les participants qui développent des stratégies de comptage peuvent être désavantagés, même dans un environnement régulier. En outre, les deux premières expérimentations, menées auprès de participants âgés de 6 à 15 ans, ont permis de mettre en évidence un changement de stratégies à l'âge de 10-11 ans. C'est, en effet, à cet âge que les participants délaissent la stratégie de réponse au profit d'une stratégie de comptage. Une donnée supplémentaire témoignant de ce changement de stratégies est une plus forte utilisation de la stratégie mixte à cet âge.

La troisième expérimentation a permis de mettre en évidence une augmentation de la complexité des tâches de navigation en termes d'environnements. Il apparaît que les exercices de navigation sont davantage réussis quand ils sont réalisés dans des environnements comportant 40% de coloration du bâti. À l'inverse, les environnements trop chargés en repères potentiels sont les moins bien réussis. Ainsi, on peut affirmer l'influence du paramètre de coloration du bâti sur la complexité des tâches à réaliser. Concernant les stratégies déclarées, on a pu mettre en évidence que des stratégies différentes étaient utilisées en fonction de l'environnement dans lequel étaient réalisés les exercices de navigation par reproduction demandés. Dans l'environnement présentant une coloration de 40%, les participants ont déclaré avoir utilisé une stratégie de réponse, c'est-à-dire plus spatiale. Dans les villes présentant un pourcentage de coloration du bâti de 25% et de 90%, les participants déclarent privilégier l'utilisation de stratégie de comptage. Alors que cette stratégie permet effectivement aux participants qui naviguent dans une ville colorée à 25% de reproduire le chemin avec une certaine efficacité, les participants qui ont dit utiliser une stratégie de comptage dans la ville colorée à 90% a permis à une minorité de reproduire l'itinéraire correctement. Une des explications fournies est que le comptage serait, en fait, perturbé par le haut pourcentage de coloration du bâti. Enfin, il semble que si l'objectif de l'expérimentateur est d'évaluer les connaissances spatiales d'un environnement, il est préférable de proposer des exercices de navigation dans des villes présentant 40% de repères potentiels.

Lors de la quatrième expérimentation menée, il a été question d'évaluer l'influence de la structuration de l'environnement dans lequel ont été réalisés les exercices de navigation par reproduction. Deux villes, développées selon deux plans différents (régulier versus irrégulier), ont été créées et expérimentées. Les performances des participants, en termes de pourcentages de réussite, étaient meilleures dans V-Sinuosity par rapport à V-Squarecity. En outre, les stratégies majoritairement déclarées être utilisées étaient différentes dans les deux villes. Alors que dans V-Sinuosity la stratégie de réponse est la stratégie déclarée comme étant la plus efficace et la plus mise en œuvre ; dans V-Squarecity, la stratégie la plus fréquemment utilisée et la plus efficace était la stratégie de comptage. Alors que la majorité des études réalisées en cognition spatiale portent sur l'exploitation d'environnements réguliers, tel que V-Squarecity, il apparaît ici que cet environnement n'évalue pas réellement le spatial. Si l'objectif est de travailler des compétences spatiales (orientation, utilisation de points de repères, exploration d'environnements...) alors, l'emploi d'environnements moins réguliers, où le recours aux stratégies de comptage s'avère peu

efficace, doit être privilégié. À l'inverse, si l'objectif est d'évaluer les capacités d'organisation des informations spatiales, les environnements réguliers peuvent être employés (Hamburger & Knauff, 2011).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Conclusions et perspectives

L'objectif de ce travail de recherche était de définir la place des apprentissages spatiaux à l'école et de s'interroger, dans une perspective développementale, sur l'acquisition de certaines habiletés spatiales par le biais d'expérimentations menées à partir de supports différents (« papier-crayon », solides en 3D, environnements virtuels). Des réponses ont pu être apportées en intégrant progressivement des éléments issus du champ de la Psychologie cognitive au champ des Sciences de l'éducation.

L'importance des habiletés spatiales n'est plus à démontrer puisque de nombreux auteurs (i.e. Wai *et al.*, 2009) ont mis en évidence qu'elles étaient un prédicteur important de réussite dans différents domaines (mathématiques, scientifiques, technologiques, ingénierie...) et également indispensables à de nombreuses professions plus techniques. Bien que des apprentissages relatifs à l'espace soient intégrés dans les programmes d'études, force est de constater que peu d'habiletés spatiales sont véritablement travaillées à l'école. En ce qui concerne les évaluations nationale (EENC) et internationale (PISA) prises en compte dans ce travail, un constat similaire peut être posé. Il a été montré que la place laissée à l'évaluation de connaissances spatiales est moindre par rapport à celle laissée à d'autres connaissances, plus disciplinaires. On a également pu mettre en évidence que, bien qu'annoncée, l'évaluation de connaissances spatiales n'était, en fin de compte, pas réalisée. Dans la plupart des cas, la connaissance de contenus disciplinaires permettait, en effet, la résolution des problèmes spatiaux posés sans qu'aucune connaissance spatiale ne soit sollicitée. Il semble donc que l'évaluation des connaissances et habiletés spatiales est loin d'être évidente même lorsque l'on vise spécifiquement son évaluation. Dans le cadre des expérimentations menées à partir d'environnements virtuels, cette difficulté s'est également présentée. En effet, alors que la volonté était d'évaluer l'habileté de navigation dans des tâches de reproduction d'itinéraires, il est apparu que les élèves âgés de 10 à 15 ans développaient, dans l'environnement régulier, des stratégies de comptage. Cela a donc conduit à proposer un environnement différent dans lequel la mise en place de stratégies spatiales serait privilégiée.

Les expérimentations menées en géographie (localisation de villes sur carte muette) et en géométrie (visualisation spatiale) ont permis de mettre en évidence un certain nombre d'éléments qui sont, *a priori*, négligés lors des apprentissages. Ainsi, il a été montré que, même si ces derniers sont considérés comme acquis, ils ne constituent pas de bases

suffisantes pour des apprentissages ultérieurs et doivent alors faire l'objet d'une attention particulière de la part de l'enseignant (émergence et prise en compte des conceptions préalables erronées des élèves). Dans le domaine de la visualisation spatiale, la fragilité des représentations ainsi que la récurrence des erreurs commises, quel que soit l'âge, montrent que l'observation n'est plus suffisamment utilisée par les élèves. En effet, alors qu'une sphère était physiquement présentée aux élèves, la majorité d'entre eux n'a pas été capable de définir l'empreinte laissée par ce solide.

Cet exemple illustratif amène à remarquer que le monde scolaire est arrivé à un stade dans lequel l'observation et la représentation mentale ne sont plus qu'abordées superficiellement et où seules les connaissances conventionnelles sont enseignées. En plus d'accorder une place importante à l'observation, il semble aussi qu'un travail de conceptualisation s'avère nécessaire pour faciliter la compréhension et l'utilisation de notions spatiales par les élèves.

1 Perspectives (aspects appliqués)

Dans le cadre de ce travail, un intérêt spécifique a d'abord été porté aux programmes d'études. Il a été montré que ceux-ci sont encore bien éloignés des connaissances scientifiques portant sur les apprentissages spatiaux. Il convient donc, dès à présent, de retravailler ces programmes d'études en prêtant attention à plusieurs aspects. Premièrement, il apparaît nécessaire que les programmes d'études prennent en compte –au même titre que d'autres connaissances disciplinaires- les connaissances spatiales. Deuxièmement, il semble indispensable que les programmes visent une réelle acquisition des habiletés spatiales (visualisation, navigation, orientation...). Troisièmement, il faut également que les programmes présentent une plus forte cohérence avec les théories psycho-développementales actuelles, tout en prenant en compte le continuum pédagogique.

Au niveau des évaluations nationale et internationale prises en compte dans le cadre de ce travail, on a pu remarquer que peu de connaissances spatiales étaient, en fin de compte, visées. Ces évaluations ne portent pas sur ce qu'elles prétendent concernant les connaissances spatiales, et sont donc, de ce point de vue, peu valides. L'utilisation des épreuves « papier-crayon », traditionnellement utilisées, montre, ici, sa limite pour l'évaluation des connaissances et habiletés spatiales. En effet, il semble incohérent et difficilement concevable d'utiliser un support 2D pour évaluer une connaissance qui

requiert l'utilisation de la 3D dans l'espace à petite échelle (micro-espace) mais aussi dans celui à plus large échelle (més-espace). Si l'usage de moyens informatisés offre de nouvelles possibilités, il convient cependant d'être attentif aux activités proposées car l'emploi de technologies, comme cela a été montré dans les expérimentations menées en environnements virtuels, ne garantit pas systématiquement l'usage d'habiletés spatiales.




Alors que le matériel numérique se démocratise à l'école et que de plus en plus de logiciels éducatifs et d'applications pédagogiques sont créés, il paraît intéressant qu'un usage plus important de ces technologies soit fait en classe. En effet, celui-ci soutiendrait l'acquisition de compétences spatiales plus complexes habituellement peu travaillées par les élèves. L'utilisation d'outils informatisés (tels le tableau blanc interactif et la tablette numérique) permettrait alors d'exercer des habiletés spatiales comme la visualisation et le changement de perspectives qui, comme cela a été mis en évidence dans ce travail, posent de nombreux problèmes aux élèves. Sans renier l'importance de la pratique physique de l'espace réel, l'utilisation d'environnements virtuels pourrait également permettre d'amener les élèves à maintenir l'utilisation d'une stratégie plus spatiale qui a tendance à disparaître avec l'âge.

2. Perspectives (aspects fondamentaux)

La première de ces perspectives amènera l'auteur à utiliser les multiples données recueillies et non présentées dans le cadre de cet écrit. L'utilisation de la réalité virtuelle, dans le cadre des expérimentations menées, a en effet permis le recueil de multiples données dont il convient à présent de penser l'utilisation.

Lors des précédentes expérimentations menées, la perception multi-sensorielle de l'environnement a été initialement et volontairement réduite à des interfaces visuelle et uni-manuelle (individu placé devant un écran et interagissant avec l'EV à l'aide d'un joystick) pour deux raisons. D'une part, la perception spatiale chez une personne saine se fait avant tout grâce à la vision. D'autre part, le but des recherches menées jusqu'ici était de faire émerger des stratégies cognitives de navigation spatiale dans une perspective développementale. Les enseignements retirés des premières recherches permettent à présent d'envisager le processus de navigation spatiale dans toute sa complexité en prêtant une attention particulière à plusieurs variables indépendantes (régularité de l'environnement, enrichissement de l'information, âges des participants).

Une des perspectives qu'offre ce travail est de renforcer la composante motrice de manière progressive par le biais d'interfaces comportementales adaptées afin d'évaluer les différences de performances (y compris des différences d'utilisation de stratégies cognitives) dans la réalisation d'exercices de navigation spatiale. Le traitement expérimental consisterait en l'introduction de quatre dispositifs définis par des interfaces comportementales permettant une intégration motrice différenciée. Pour les trois premiers dispositifs, deux groupes expérimentaux sont créés : les participants du premier groupe sont actifs (ils utilisent eux-mêmes l'interface) tandis que les participants du second groupe sont passifs (passivité motrice, ils ne peuvent faire usage de l'interface motrice et deviennent des passagers). Les deux premiers dispositifs expérimentaux placent les participants face à un écran où la composante motrice n'est exercée que par une interface bi-manuelle (faible intégration motrice). Dans le 1^{er} dispositif, le participant navigue dans l'environnement de manière discontinue (arrêt à chaque point de décision) à l'aide d'un joystick. Dans le 2^e dispositif, le participant navigue dans l'environnement de manière continue en actionnant un levier de force, avec ou sans résistance (l'arrêt s'effectue où le participant le désire). Pour le 3^e dispositif, le participant prend place sur un pédalier muni d'un volant (intégration motrice moyenne). Cette interface ergomètre, bi-manuelle et podo-kinétique, active les systèmes sensori-moteur et kinesthésique (effort ressenti) des participants ayant la maîtrise du dispositif. Le 4^e dispositif reposant sur une forte intégration motrice (vestibulaire et proprioceptive) amène le participant à réaliser physiquement des parcours de navigation dans un environnement simulé. Ce dispositif requiert l'utilisation de casques immersifs diffusant, en temps réel, le rendu des déplacements effectivement réalisés par l'individu. Étant donné l'influence de l'/la (ir)régularité de l'environnement sur les stratégies mises en œuvre par les participants, les environnements V-Squarecity et V-Sinuosity seraient également mobilisés dans le cadre de chacun des dispositifs expérimentaux énoncés. Ces deux villes virtuelles pourraient également être présentées avec un enrichissement informationnel plus ou moins important (réalisme versus peu de réalisme du bâti). Des versions de démonstration de ces villes virtuelles d'un niveau de réalisme plus élevé peuvent être visualisées via les QR Code suivants (Figure 9.15 ; Figure 9.16) :

	
 http://youtu.be/LkxooTvKfm0	 https://www.youtube.com/watch?v=m1q1geIJyYM
<p>Figure 9.15 - V-Squarecity version avancée</p>	<p>Figure 9.16 - V-Sinuoucity version avancée</p>

Une autre perspective conduirait à étudier le traitement de stimuli visuels en utilisant des dispositifs d'« *eye tracking* ». Un double objectif pourrait alors être poursuivi. D'une part, cela permettrait de vérifier les résultats des expérimentations qui ont été menées dans ce travail puisque l'adéquation entre les stratégies déclarées et les mouvements oculaires effectivement réalisés pourraient alors être confrontés. D'autre part, cela permettrait de cibler les informations visuelles effectivement prises en compte par les participants (en fonction de leur âge et des conditions dans lesquelles ils sont placés) pour modéliser la perception visuelle. Le dispositif permettra également de différencier les mouvements oculaires volontaires des réflexes oculaires (réflexes oculo-vestibulaires et réflexes opto-cinétiques).

En plus des données recueillies en temps réel lors de la réalisation d'exercices spatiaux dans les environnements virtuels, il s'avèrerait intéressant de juger de l'exactitude des représentations spatiales créées mentalement et d'évaluer leur durabilité à court, moyen et long terme (Betbeder, 2009). Ainsi, il pourrait être envisagé de faire émerger ces représentations sous la forme de cartes mentales ou « *sketch maps* » (connaissances égocentriques et/ou allocentriques). La 1^{ère} évaluation serait réalisée dès la fin de

l'activité spatiale (rétention à court terme). La 2^e évaluation serait effectuée plusieurs heures après l'expérience de navigation (rétention à moyen terme). La 3^e évaluation serait proposée trois semaines plus tard (rétention à long terme).

En outre, les résultats des expérimentations portant sur la reproduction d'itinéraires amènent, à présent, à questionner les caractères immuables et stables du mécanisme d'intégration du chemin. La variation de la charge informationnelle contenue dans l'environnement (pourcentage et type de stimuli visuels), le type d'espace considéré (mésos-/macro-espace) ainsi que le type de parcours demandés (autre qu'un triangle rectangle à achever, Harris & Wolbers, 2012) constitueraient des facteurs influençant ledit mécanisme. Des investigations permettraient d'affirmer que le mécanisme d'intégration du chemin peut être mis en concurrence avec d'autres modèles notamment basés sur l'utilisation d'informations allothétiques.

Jusqu'à présent, les expérimentations ont été réalisées avec des enfants habitués à évoluer dans des villes définies selon un plan radioconcentrique, (i. e. Mons). La réplication des expérimentations ici menées dans d'autres villes, différemment structurées (définies, par exemple, selon un plan hippodaméen), serait intéressante pour vérifier une hypothèse forte en psychologie environnementale : l'influence de la structuration des espaces sur l'élaboration de stratégies de navigation.

Enfin, en cognition spatiale, un nombre important d'environnements virtuels est développé et utilisé par les chercheurs pour exercer et/ou évaluer les compétences spatiales des individus. L'utilisation de ces environnements pose deux problèmes majeurs : d'une part, elle conduit souvent le chercheur à s'interroger sur les paramètres des dispositifs utilisés (souvent, les environnements ne sont pas suffisamment décrits) et, d'autre part, elle ne facilite pas les répliques d'expérimentations par d'autres équipes (peu d'environnements virtuels sont mis à disposition de la communauté des chercheurs). Le « laboratoire virtuel » ici conçu consiste en un ensemble de villes virtuelles structurées différemment (V-Squarecity/V-Sinuosity) dans lesquelles il est possible d'effectuer des exercices de reproduction d'itinéraires et d'intégration du chemin. Toutes les villes conçues sont entièrement et facilement paramétrables (sans programmation, il est possible de changer tous les paramètres de la ville comme, par exemples, la couleur du bâti, le pourcentage de coloration du bâti, la course du soleil, les repères remarquables, le réalisme des villes, les éléments parasites tels des piétons, des véhicules,...) et diffusables via un simple fichier .exe (les réflexions actuelles portent d'ailleurs sur la mise en ligne des environnements créés et la récupération

instantanée des données d'expérimentations). Ces deux plus-values devraient permettre de faciliter les collaborations entre centres de recherche.

Bibliographie

A.

- Allemand, S., Dagorn, R.-E. & Vilaça, O. (2005). *La géographie contemporaine*. Paris : Le Cavalier Bleu.
- Allen, B. (1999). Individual Differences and the Conundrums of User-centered Design: Two Experiments. *Journal of the American society for Information science*, 51(6), 508–520.
- Allen, G. (1987). Cognitive Influences on the Acquisition of Route Knowledge in Children and Adults. In P. Ellen, & C. Thinus-Blanc (Eds.), *Cognitive Processes and Spatial Orientation in Animal and Man Volume II Neurophysiology and Developmental Aspects*, Vol. 37 (pp.274-283). Dordrecht, Neth: Martinus Nijhoff.
- Andre, Y. (1998). *Enseigner les représentations spatiales*. Paris : Anthropos.
- Andre, Y., Gailly, A., Guerin, J.-P. & Gumuchian, H. (1989). *Représenter l'espace ; L'imaginaire spatial à l'école*. Paris : Anthropos.
- Andrieux, C. (1956). Le facteur spatial. *L'année psychologique*, 56(2), 453-460.
- Appleyard, D. (1969). Why Buildings Are Known. *Environment and Behavior*, 1, 131-159.
- Appleyard, D. (1970). Styles and Methods of Structuring a City. *Environment and Behavior*, 2, 100-116.
- Ardouin, T. (2008). De la compétence individuelle aux capacités organisationnelles: regard croisé France Québec. *Communication présentée lors du Colloque Management des capacités organisationnelles de l'ACFAS*, Québec, Canada.
- Arleo, A. & Rondi-Reig, L. (2007). Multimodal Sensory Integration and Concurrent Navigation Strategies for Spatial Cognition in Real and Artificial Organisms. *Journal of Integrative Neuroscience*, 6(3), 327-366.
- Arnaldi, B., Fuchs, Ph. & Guitton, P. (2006). Les applications de la réalité virtuelle – Présentation des applications de la réalité ; In P., Fuchs (Ed.), *le Traité de la réalité virtuelle* (pp.16-23). Paris: Presses de l'Ecole des Mines, vol. 4.
- Arthur, P. & Passini, R. (1992). *Wayfinding: People, Signs and Architecture*. New York, NY: McGraw-Hill Publishing Company.

- Astur, R., Tropp, J., Sava, S., Constable, R. & Markus, E. (2004). Sex Differences and Correlations in a Virtual Morris Water Task, a Virtual Radial Arm Maze, and Mental Rotation. *Behavioural Brain Research*, 151(1-2), 103-115.
- Atkinson, R. & Shiffrin, R. (1968). Human memory: A Proposed System and Its Control Processes ». In K. Spence & J. Spence (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (pp.89-195). Vol. 2 New York, NY: Academic Press.
- Auclair, L. & Sieroff, E. (2002). Attentional Cueing Effect in the Identification of Words and Pseudo-words of Different Length. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55, 445-463.
- Audigier, F., Crahay M. & Dolz J. (2006). *Curriculum, enseignement et pilotage*. Bruxelles: De Boeck.

B.

- Bacon, A., Handley, S., Dennis, I. & Newstead, S. (2008). Reasoning Strategies : The Role of Working Memory and Verbal-Spatial Ability. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(6), 1065-1086.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.A. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (Vol. 8) (pp.47-89). New York, NY: Academic Press.
- Baddeley, A. (1986). *Working Memory*. New York, NY: Oxford University Press.
- Baddeley, A., Allen, R., & Hitch, G. (2011). Binding in Visual Working Memory: The Role of the Episodic Buffer. *Neuropsychologia*, 49, 1393-1400.
- Bailly, A. & Ferras, R. (2010). *Éléments d'épistémologie de la géographie* (2^e éd.). Paris: Armand Colin.
- Bailly, A. (1974). La perception des paysages urbains. Essai méthodologique. *Espace géographique* 3(3), 211-217.
- Bailly, A. (1984): La géographie des représentations: espaces perçus et espaces vécus (pp. 133-138). In: *Les concepts de la géographie humaine*, Paris : Masson.
- Bailly, A. (1985). La région : de la territorialité vécue aux mythes collectifs. In, J. Lajugie Ed.), *Région et aménagement du territoire : mélanges offerts à Joseph Lajugie* (pp.43-56). Bordeaux: Université de Bordeaux I.
- Bailly, A. (1995). Les Représentations en géographie, In A., Bailly, R., Ferras et D., Pumain, (dir.), *Encyclopédie de géographie* (pp. 369-381), Paris : Economica.

- Bailly, A. (2009). Etre géographe aujourd'hui : La géographie... ma géographie. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 52, 37-38.
- Baldy, R., Devichi, C., Aubert, F., Munier, V., Merle, H., Dusseau, J. & Favrat, J. (2005). Développement cognitif et apprentissages scolaires : l'exemple de l'acquisition du concept d'angle, *Revue française de pédagogie*, 152, 49-61.
- Barisnikov, K. & Pizzo, R. (2013). L'examen des compétences visuo-spatiales. In Nel, M.-P., Bil (Eds.), *Neuropsychologie de l'enfant* (chapitre 6). Bruxelles : Mardaga.
- Barkowski, T. (2002). *Mental Representation and Processing of Geographic Knowledge; A Computational Approach*. Germany: Springer.
- Barkowsky, T. & Freksa, C. (2003). Transregional Collaborative Research Center SFB/TR 8 Spatial Cognition: Reasoning - Action - Interaction. In F. Schmalhofer, R. Young, G. Katz (Eds.), *Proceedings of EuroCogSci 03* (pp. 453-458). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Barnes, T.D., Kubota, Y., Hu, D., Jin, D.Z. & Graybiel, A.M. (2005). Activity of Striatal Neurons Reflects Dynamic Encoding and Recoding of Procedural Memories. *Nature*, 437(7026), 1158-1161.
- Baroody, A. (1989). One Point of view: Manipulatives Don't Come avec Guarantees *Arithmetic Teacher*, 37(2), 4-5.
- Barth, B. M. (2001). *L'apprentissage de l'abstraction* Paris : Retz.
- Bavoux, J. (2010). *Initiation à l'analyse spatiale*. Paris : Armand Colin.
- Beaudichon, J. & Bideaud, J. (1979). De l'utilité des notions d'égoцентризм, de décentration et de prise de rôle dans l'étude du développement. *L'année psychologique*, 79(2), 589-622.
- Beckers, J. (2002). *Développer et évaluer des compétences à l'école : vers plus d'efficacité et d'équité*. Bruxelles : Labor.
- Beckers, J., Crinon, J., & G. Simons (Eds.). (2012). *Approche par compétences et réduction des inégalités d'apprentissage entre élèves. De l'analyse des situations scolaires à la formation des enseignants*. Bruxelles : De Boeck.
- Belkhodja, M. (2007). *La visualisation en géométrie dans trois et deux dimensions en tant que compétence à développer à l'école*. Thèse de doctorat en Sciences de l'éducation, Université de Laval, Québec.

- Benimmas, A. (1999). Apprendre à lire la carte thématique au secondaire ou développer le raisonnement géographique chez l'élève. *Cahiers de géographie de Québec*, 43(120), 539-558. En ligne http://www.erudit.org/revue/cgq/1999/v43/n120/022854ar.pdf?origin=publication_detail, consulté le 5 décembre 2013.
- Berkeley, G., (1998). *Trois dialogues entre Hylas et Philonous*. Paris : GF-Flammarion.
- Bernstein, B. (2007). Classes et pédagogies : visibles et invisibles. In J. Deauvieu et J.P. Terrail (Eds.), *Les sociologues, l'école et la transmission des savoirs. Bautier, Bernstein, Bourdieu, Grospiron, Isambert-Jamati, Keddie, Lahire, Rochex, Tanguy, Young* (pp.85-112). Paris: La dispute.
- Bertolo, D. (2014). *Apports et évaluations des interactions sur tablettes numériques dans le cadre de l'apprentissage de la géométrie dans l'espace*. Thèse de doctorat en Informatique, non publiée, Université de Lorraine, Metz.
- Berthelot, R. & Salin, M. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de doctorat en Mathématiques, Université Sciences et Technologies, Bordeaux I.
- Berthelot, R. & Salin, M. (1993). Conditions didactiques de l'apprentissage des plans et cartes dans l'enseignement élémentaire. In Bessot, A. & Vérillon, P. (Eds.), *Espaces Graphiques et Graphismes d'Espaces* (chapitre 4). France : La pensée sauvage.
- Berthelot, R. & Salin, M. (1993-1994). L'enseignement de la géométrie à l'école primaire. *Grand N*, 53, 39-53.
- Berthelot, R. & Salin, MH. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de doctorat en Didactique des mathématiques. Université de Bordeaux I. En ligne http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/41/40/65/PDF/these_Berthelot_Salin.pdf consulté le 7 décembre 2013.
- Berthelot, R. & Salin, M. (2001). L'enseignement de la géométrie au début du collège. Comment concevoir le passage de la géométrie du constat à la géométrie déductive ? *Petit x*, 56, 5-15.
- Berthoz, A. (1991). Reference Frames for the Perception and Control of Movement. In: J. Paillard (Ed.), *Brain and Space* (pp.81-111). New York, NY: Oxford University Press.
- Betbeder, N (2009). *La Trace mnésique visuo-spatiale chez l'Homme confronté au Temps: Consolider et se rappeler après un long délai*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I.
- Bideaud, J. (1999). Psychologie du développement : les avatars du constructivisme. *Psychologie française*, 44(3), 205-220.

- Bkouche, R. (1990). Enseigner la géométrie, pourquoi ? *Repères*, 1, 92-102.
- Bohbot, V. (2014). *Use Spatial Memory to Reduce Risks of Dementia*. Communication présentée lors d'une conférence, Montréal. En ligne de <http://www.douglas.qc.ca/news/1236?locale=en> consulté le 12/12/2014.
- Bohbot, V., McKenzie, S., Konishi, K., Fouquet, C., Kurdi, V., Schachar, B., Robaey, P. (2012). Virtual Navigation Strategies from Childhood to Senescence: Evidences for Changes Across the Life Span. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 1-10.
- Bonin, S., (2004). Au-delà de la représentation, le paysage, *Strates*, n° 11, 13-26.
- Borjon Sultan, F. (2010). Flexibilité cognitive, développement cognitif et décentration dans le paradigme de la résolution de problèmes. *Psychologie & Education*, 4, 33-48.
- Boumenir, Y., Georges, F., Valentin, J., Rebillard, G. & Dresch-Langley, B. (2010). Wayfinding Through an Unfamiliar Environment. *Perceptual and Motor Skills*, 111(3), 829-847.
- Boumenir, Y. (2011). *Spatial Navigation in Real and Virtual Urban Environments: Performance and Multisensory Processing of Spatial Information in Sighted, Visually Impaired, Late and Congenitally Blind Individuals*. *Human-Computer Interaction*. Thèse de doctorat en Sciences et Techniques, Université Montpellier II, Montpellier.
- Bourny, G., Dupé, C., Robin, I. & Rocher, T. (2001). *Les élèves de 15 ans - Premiers résultats d'une évaluation internationale des acquis des élèves (PISA)*. Note d'information 01-52, Ministère de l'Éducation Nationale, France.
- Boutin, G. (2004). L'approche par compétences en éducation : Un amalgame paradigmatique. *Connexions*, 1(81), 25-41.
- Bovy, P. & Stern, E. (1990). *Route Choice: Wayfinding in Transport Networks*. *Studies in Operational Regional Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Brousseau, G. (1983). *Études de questions d'enseignement. Un exemple : la géométrie*. Communication présentée au Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique, LSD IMAG, Université J. Fourier, Grenoble.
- Brousseau, G. (1989). Utilité et intérêt de la didactique pour un professeur de collège, *Petit x*, 21, 47-68.
- Brousseau, G. (2000). Les propriétés didactiques de la géométrie élémentaire. L'étude de l'espace et de la géométrie. *Actes du Séminaire de Didactique des Mathématiques*, Université de Crète, Rethymnon, 67-83. En ligne <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00515110/document> consulté le 02/03/2013.

- Bruner, J. (1966). On cognitive growth. In J., Bruner, R., Olver & P., Greenfield (Eds.), *Studies in Cognitive Growth*, New York : Wiley, 1-28.
- Brunet, R., Ferras, R. & Théry, H. (2005). *Les mots de la géographie* (3^e éd.). Paris : Reclus/La Documentation française.
- Buchner, A. & Jansen-Osmann, P. (2008). Is Route Learning More Than Serial Learning? *Spatial Cognition Computers*, 8(4), 289-305.
- Bullens, J., Igloi, K., Berthoz, A., Postma, A. & Rondi-Reig, L. (2010). Developmental Time Course of the Acquisition of Sequential Egocentric and Allocentric Navigation Strategies. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107(3), 337-350.
- Burdea, G. & Coiffet, P. (1993). *La réalité virtuelle*. Paris : Hermes.
- Burguière, E. (2006). *Rôle du cervelet dans la navigation : étude du mécanisme cellulaire de dépression synaptique à long terme des fibres parallèles*. Thèse de doctorat en Sciences du Vivant, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- Burte, H. & Hegarty, M. (2013). Individual and Strategy Differences in an Allocentric-Heading Recall Task. In: M. Knauff, M., M. Pauen, M., N. Sebanz & , N., I. Wachsmuth , I. (Eds.), *Proceedings of the 35th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.1958–1963). Austin, TX: Cognitive Science Society, 1958-1963.
- C.*
- Carette, V. (2007). Les implications de la notion de compétence sur l'évaluation. *Education – Formation*, e-286, 51-61.
- Carette, V. (2009). Pédagogie par objectifs et approche par compétences : rupture ou continuité ? *Bulletin de l'ADMEE-Europe*, 6(2), 11-25.
- Cauquelin, A. (1989). *L'invention du paysage*. Paris : Plon.
- Cauvin, C. (1999). Pour une approche de la cognition spatiale intra-urbaine, *Cybergeog : European Journal of Geography, Political, Cultural and Cognitive Geography*, document 72.
- Chalon-Blanc, A. (2005). *Inventer, compter et classer : de Piaget aux débats actuels*. Paris : Armand Colin.

- Chaoued, A. (2006). *L'enseignement scientifique à l'école de base. Approches didactique, anthropo-culturelle et épistémologique des curricula scientifiques de l'enseignement de base en Tunisie*. Thèse de doctorat en Sciences de l'Education, Tome 1, Université de Rennes II, Haute Bretagne.
- Chapuis, N., Thinus-Blanc, C. & Poucet, B. (1983). Dissociation of Mechanisms Involved in Dogs' Oriented Displacements. *Q. J. exp. Psych.* 35B, 213–219.
- Charalambos, L. (1997). A few Remarks Regarding the Teaching of Geometry, Through a Theoretical Analysis of the Geometrical Figure. *Nonlinear Analysis, Theory, Methods & Applications*, 30,(4), 2087-2095.
- Chebat, J.-C., Gelinas-Chebat C. & Therrien K. (2005). Lost in a Mall, the Effects of Gender, Familiarity With the Shopping Mall and the Shopping Values on Shoppers' Wayfinding Processes. *Journal of Business Research*, 58(11), 1590-1598.
- Chen, J. & Stanney, K. (2002). A Theoretical Model of Wayfinding in Virtual Environments: Proposed Strategies for Navigational Aiding. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(6), 671-685.
- Cherni, H. (2012). *Impact des caractéristiques de l'information délivrée par un système virtuel dans une tâche de de recherche de cibles. Perspectives en remédiation cognitive*. Thèse de doctorat en Sciences de l'Ingénieur, Institut des sciences et technologies, Paris.
- Chevallard, Y. & Julien, M. (1991). Autour de l'enseignement de la géométrie au collège. *Petit x*, 27, 41-76.
- Chevallard, Y. & Joshua M.-A. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Chouquer, G. (2002). « Anne Cauquelin, L'invention du paysage. Paris, Presses universitaires de France, 2000, 180 p. (« Quadrige »). Et: Le site et le paysage. Paris, Presses universitaires de France, 2002, 194 p. (« Quadrige »). », *Études rurales*, pp. 163-164.
- Clément, C. & Demont, E. (2013). *Les 20 grandes notions de la psychologie du développement*. Paris: Dunod.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2e éd.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Cohen R. & Schuepfer T. (1980). The Representation of Landmarks and Routes. *Child Dev.* 51, 1065.
- Colignatus, T. (2014). Pierre Van Hiele and David Tall: Getting the Facts Right. *Cornell University Library*, 1-24.

- Colmez, F. & Parzysz, B. (1993). Le vu et le su dans l'évolution de dessins de pyramides du CE2 à la Seconde. In A. Bessot & P. Vérillon (Eds.), *Espaces graphiques et graphismes d'espaces* (pp. 35-55). France : La pensée sauvage.
- Communauté française de Belgique (1997). *Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre*, pp. 1-69. [En ligne]. Récupéré le 23/05/2013 à partir de http://www.enseignement.be/index.php?page=23827&do_id=401
- Communauté française de Belgique (2006). *Décret relatif à l'évaluation externe des acquis des élèves de l'enseignement obligatoire et au certificat d'études de base au terme de l'enseignement primaire*, pp. 1-26. [En ligne]. Récupéré le 23/05/2013 à partir de http://www.galilex.cfwb.be/document/pdf/30959_008.pdf
- Conseil de l'Enseignement des Communes et des Provinces. (2008). Programme de l'enseignement primaire. (3^e éd).
- Cooper, L. & Shepard, R. (1973). Chronometric Studies of the Rotation of Mental Images. In: W.G. Chase, (Ed.), *Visual Information Processing* (pp.75-176). New York, NY: Academic Press.
- Cornell, E., & Heth, C. (2006). Home Range and the Development of Children's Way Finding. In R. Kail (Ed.) *Advances in Child Development and Behavior, Vol. 34*. New York: Academic Press.
- Cornell, E., Heth, C. & Broda, L. (1989). Children's Wayfinding: Response to Instructions to Use Environmental Landmarks. *Developmental Psychology*, 25, 755–764.
- Courbois, Y., Blades, M., Farran, E. & Sockeel, P. (2012). Do Individuals with Intellectual Disability Select Appropriate Objects as Landmarks when Learning a New Route?. *Journal of Intellectual Disability Research*, 57, pp. 80–89.
- Courbois, Y., Farran, E. K., Lemahieu, A., Blades, M., Mengue-Topio, H., & Sockeel, P. (2013). Wayfinding Behaviour in Down Syndrome: A Study with Virtual Environments. *Research in Developmental Disabilities*, 34(5), 1825-1831.
- Couturier, R. (2001). Traitement de l'analyse statistique implicative dans CHIC, *Actes des Journées la fouille dans les données par la méthode d'analyse statistique implicative*, p. 33-50, Académie de Caen, France.
- Couturier, R. & Almouloud, S. (2009). CHIC : utilisation et fonctionnalités. In R. Gras (Ed.), *Analyse statistique implicative - Une méthode d'analyse de données pour la recherche de causalités* (pp. 279–291). Toulouse : Cépaduès.

- Crahay, M. & Delhaxhe, A. (2003). *L'analyse comparée des systèmes éducatifs. Entre universalisme et particularisme culturel*. Bruxelles : De Boeck.
- Crahay, M., & Detheux, M. (2005). L'évaluation des compétences, une entreprise impossible ? (Résolution de problèmes complexes et maîtrise de procédures mathématiques). *Mesure et évaluation en éducation*, 28(1), 57-78.
- Crahay, M., & Forget A. (2006). Changements curriculaires : quelle est l'influence de l'économique et du politique ?. In F. Audigier, M. Crahay & J. Dolz (Eds.). *Curriculum, enseignement et pilotage* (pp.63–84). Bruxelles: De Boeck.
- Crowley, M. (1987). The Van Hiele Model of the Development of Geometric Thought. *Learning and teaching geometry, K-12*, 1-16.

D.

- Dalongeville, A. & Huber, M. (2002). *Situations-problèmes pour enseigner la géographie au cycle 3*, Paris : Hachette Education.
- Darken, R., Allard, T. & Achille, L. (1999). Spatial Orientation and Wayfinding in Large-Scale Virtual Spaces: Guest Editors' Introduction. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(6), 3-6.
- Darken, R. & Goerger, S. (2000). The Transfer of Strategies from Virtual to Real Environments: An Explanation for Performance Differences? *Proceedings of Virtual Worlds and Simulation*, 159-164.
- Darken, R., & Peterson, B. (2002). Spatial Orientation, Wayfinding, and Representation. In K., Stanney (Ed.), *Handbook of Virtual Environments: Design, implementation and applications* (pp.493-518). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Darken, R. & Sibert, J. (1996). Navigating Large Virtual Spaces. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 8(1), 49-72.
- Dauphin, O., Janneau, R. et Perron, N. (2009). *L'enseignement de l'histoire-géographie de l'école élémentaire au lycée. Vecteur de propagande ou fondement de l'esprit critique ?* Paris : L'Harmattan.
- Davis, M., Merrill, E., Connors, F. & Roskos, B. (2014). Patterns of Differences in Wayfinding Performance and Correlations Among Abilities Between Persons With and Without Down Syndrome and Typically Developing Children. *Frontiers in Psychology*, 5, 1446-1455.
- D'Hainaut, L. (1985). *Des fins aux objectifs de l'éducation* (4è éd.). Bruxelles: Labor-Nathan.

- De Condappa, O. & Wiener, J., (2014). Human Place and Response Learning: Navigation Strategy Selection, Pupil Size and Gaze Behavior. *Psychological Research: an International Journal of Perception, Attention, Memory and Action*, 25(5), 125-135.
- De Ketele, J.-M. & Roegiers, X. (1995). *Metodología para la recogida de información*. Madrid : La Muralla.
- De Ketele, J.-M. (1993). L'évaluation conjugée en paradigmes. *Revue française de pédagogie*, 103, 59-80.
- De Ketele, J.-M. (2001). Place de la notion de compétence dans l'évaluation des apprentissages. In G. Figari, M. Achouche (Eds.), *L'activité évaluative réinterrogée. Regards scolaires et socioprofessionnels* (pp. 39-43). Bruxelles : De Boeck Université.
- De Landsheere, G. (1979). *Dictionnaire de l'évaluation de la recherche en éducation*. Paris : Presses universitaires de France.
- De Landsheere, V., & De Landsheere, G. (1984). *Définir les objectifs de l'éducation* (5^e éd.). Paris : Presses universitaires de France.
- De Vecchi, G. (1992). *Aider les élèves à apprendre*. Paris : Hachette.
- De Wilde d'Estmael, T. & Dubois, C. (2007). L'espace, « force profonde » de la politique étrangère. Lectures géopolitiques. In C. Roosens, V. Rosoux & T. de Wilde D'Estmael (Eds.), *La politique étrangère. Le modèle classique à l'épreuve* (pp.299-309). Bruxelles: Peter Lang.
- Debbie, M. & Brett, M. (2007). Spatial Navigation: Spatial Learning in Real and Virtual Environment. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 2, 111-124.
- De Lièvre, B. Staes, L. (2006). *La psychomotricité au service de l'enfant: Notions et applications pédagogiques*. Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- Delorme, A. & Flückiger, M. (2003). *Perception et réalité. Une introduction à la psychologie des perceptions*. Bruxelles : De Boeck Supérieur « Neurosciences & cognition ».
- Demeuse, M., (2013). Elaborer un curriculum de formation et en assurer la qualité. In F. Parent & J. Jouquan (Eds.), *Penser la formation des professionnels de la santé* (pp.315-330). Bruxelles : De Boeck.
- Demeuse, M., & Baye, A. (2008). Mesurer et comparer l'équité des systèmes éducatifs en Europe. *Education et Formations*, 78, 137-149.

- Demeuse, M., Duroisin, N. & Soetewey, S. (2012). Implications du choix des référentiels dans les évaluations nationales et internationales. Le cas de l'enseignement des sciences dans l'enseignement belge francophone. *Education comparée. Revue de recherche internationale et comparative en éducation*, 7, 123-154.
- Demeuse, M., & Strauven, C. (2006). *Développer un curriculum d'enseignement ou de formation*. Bruxelles : De Boeck.
- Demeuse, M. & Strauven, C. (2013). *Développer un curriculum d'enseignement ou de formation. Des options politiques au pilotage*. Bruxelles : De Boeck. Perspectives en éducation & formation.
- Demonty, I., Blondin, C., Matoul, A., Baye, A., & Lafontaine, D. (2013). La culture mathématique à 15 ans. Premiers résultats de PISA 2012 en Fédération Wallonie-Bruxelles. *Les Cahiers des sciences de l'éducation*, 34.
- Denis, M. (1989). *Image et cognition*. Paris : Presses universitaires de France.
- Denis, M. (2012). La cognition spatiale. In Denis, M. (Ed.), *La Psychologie cognitive* (chapitre 3). Paris : La maison des Sciences de l'homme.
- Depeau, S. (2006). De la représentation sociale à la cognition spatiale. *Revue Travaux et Documents de l'UMR ESO*, 25, 7-17.
- Depover, C. & Noël, B. (2005). *Le curriculum et ses logiques*. Paris : L'Harmattan.
- Dervillez-Bastuji, J. (1982). *Structures des relations spatiales dans quelques langues naturelles*. Genève : Droz.
- Desgranges, B. & Eustache, F. (2011). Les conceptions de la mémoire déclarative d'Endel Tulving et leurs conséquences actuelles. *Revue de neuropsychologie*, 3(2), 94-103.
- Dogu, U. & Erkip, F. (2000). Spatial Factors Affecting Wayfinding and Orientation: A Case Study in a Shopping Mall. *Environment and Behaviour*, 32(6), 731-755.
- Douaire, J., Emprin, F., Rajain, C. (2009). L'apprentissage du 3D à l'école. *Repères*, 77, 23-52.
- Downs, R. & Stea, D. (1973). *Image and Environment. Cognitive Mapping and Spatial Behavior*. Chicago: Aldine Press.
- Downs, R. & Stea, D. (1977). Maps in Minds. Reflections on Cognitive Mapping. *Harper & Row, Series in Geography*, 284-289.
- Driscoll, M. (1983). *Research within Reach: Elementary School Mathematics and Reading*. St. Louis: CEMREL.

- Dupré, S. (2006). Perceptions et représentations géographiques : un outil pour aménager les forêts touristifiées ?, *Téoros*, 25-2, 53-61.
- Dupouy, C. (2006). La question du lieu en poésie: du surréalisme jusqu'à nos jours. Amsterdam : Rodopi.
- Duroisin, N. (2013). *La place de la géométrie dans les programmes d'études de mathématiques*. Communication présentée aux Journées scientifiques. Cclépod. Changements dans les curricula et reconfigurations des disciplines scolaires, Toulouse.
- Duroisin, N. & Soetewey, S. (2011). *Echantillonnage d'enseignants dans les établissements scolaires ; Plan et caractéristiques. Fascicule CT 28/08/11*. Rapport de recherche non publié, Université de Mons, Mons.
- Duroisin, N. & Soetewey, S. (2012). Give Teachers a Voice for to Change the Quality of Current Programmes, How To Do It? With What Results? In *Proceedings of European Conference on Education Research*. Cadix University.
- Duroisin, N., Soetewey, S. & Canzittu, D. (2013). On the Importance to Consider Developmental Psychology in the Process of Writing a Curriculum. In *Proceedings of European Conference on Education Research*. Istanbul, Turquie.
- Duroisin, N., Soetewey, S & Demeuse, M. (2012). Au carrefour du curriculum prescrit et du curriculum implanté : polémique et polysémie autour du terme de compétence en Fédération Wallonie-Bruxelles. In *Actes du 24e Colloque-international de l'ADMEE-Europe*, Luxembourg ville, Luxembourg.
- Duroisin, N., Soetewey, S & Demeuse, M. (2013). Concevoir un programme d'études et ancrer ce travail de conception sur des propositions théoriques et méthodologiques, une tâche difficile ? *Mesure et évaluation en éducation*, 36 (3), 109-137.
- Duval, R. (2005). Les conditions cognitives de l'apprentissage de la géométrie : Développement de la visualisation, différenciation des raisonnements et coordination de leurs fonctionnements. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 10, 5-53.

E.

- Eme, E. (2003). *Psychologie différentielle*. Paris : Armand Colin.
- Emprin, F., Douaire, J. & Rajain, C. (2009). L'apprentissage du 3D à l'école, des situations d'apprentissage à la formation des enseignants. *Repères*, 77, 23-52.

- Ericsson, K.A. & Simon, H.A. (1980). Verbal Reports as Data. *Psychological Review*, 87(3), 215–251.
- Etienne, S. (2013). *Etude des processus cognitifs sous-tendant les stratégies utilisées lors de l'apprentissage d'une tâche de navigation spatiale*. Thèse de doctorat en Sociétés, Politique, Santé publique. Sciences cognitives et Ergonomie. Université de Bordeaux 2, France.
- Etienne, A., Teroni, E., Maurer, R., Portenier, V., Saucy, F. (1985). Short-distance Homing in a Small Mammal: the Role of Exteroceptive Cues and Path Integration. *Experientia*, 41, 122-125.
- Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). MNESIS: Towards the Integration of Current Multisystem Models of Memory. *Neuropsychology Review*, 18(1), 53-69.
- Eustache, F., Lechevalier, B. & Viader, F. (1996). *La mémoire: Neuropsychologie clinique et modèles cognitifs*. Bruxelles: De Boeck.
- Evans, G. (1980). Environmental Cognition. *Psychological Bulletin*, 88, 259-287.
- Evans, G. Fellows, J., Zorn, M. & Doty, K. (1980). Cognitive Mapping and Architecture. *Journal of Applied Psychology*, 65, 474–478.

F.

- Farran, E., Courbois, Y., Van Herwegen, J., & Blades, M. (2012). How Useful are Landmarks when Learning a Route in a Virtual Environment? Evidence from Typical Development and Williams Syndrome. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(4), 571-586.
- Farran, E., Courbois, Y., Van Herwegen, J., Cruickshank, A. & Blades, M. (2012). Colour as an Environmental Cue When Learning a Route in a Virtual Environment: Typical and Atypical Development. *Research in Developmental Disabilities*, 33(3), 900-908.
- Farran, E., Cranwell, M., Alvarez, J., Franklin, A. (2013). Colour Discrimination and Categorisation in Williams Syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 34, 3352-3360.
- Ferla, J., Valcke, M., Cai, Y., (2009). Academic Self-efficacy and Academic Self-concept: Reconsidering Structural Relationships. *Learning and Individual Differences*, 19, 499-505.
- Fischbein, E. (1993). The Theory of Figural Concepts. *Educational Studies in Mathematics*, 24(2), 139- 162.
- Fischer, G. (2011). *Psychologie sociale de l'environnement* (2^e éd.). Paris : Dunod.

- Fournand, A. (2003). Images d'une cité. Cartes mentales et représentations spatiales des adolescents de Garges-lès-Gonesse. *Annales de géographie*, 633 (5), 537-550.
- Frankenstein, J., Meilinger, T., Mohler, B. J., & Bühlhoff, H. H. (2009). Spatial Memory for Highly Familiar Environments. In N. Taatgen & H. VanRijn (Eds.), *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 2650- 2655). RedHook, NY: Curran.
- Freksa, C. (2004). Spatial Cognition an AI perspective. In R., López de Mantaras & L., Saitta (Eds.), *ECAI 2004*. Amsterdam: IOS Press.
- Freksa, C., Habel C & Wender K. (1998)., *Spatial Cognition, An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge. Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Berlin : Springer.
- Freudenthal, H. (1973). *Mathematics as an Educational Task*. Dordrecht:Riedel Publishing Company.
- Fuchs, P., Arnaldi, B. & Tisseau, J. (2003). La réalité virtuelle et ses applications. In P. Fuchs & G. Moreau (Eds.). *Le traité de la réalité virtuelle. Volume 1 : fondements et interfaces comportementales* (pp. 3-52). Paris : Presse de l'Ecole des Mines de Paris.
- Fuchs, P. & Moreau, G. (2003). *Le traité de la réalité virtuelle*. Paris : Presse de l'Ecole des Mines de Paris.
- Fujita, N., Klatzky, R. L., Loomis, J.M, & Golledge, R.G. (1993). The Encoding-error Model of Pathway Completion Without Vision. *Geographical Analysis*, 25, 295-314.
- Fujita, N., Loomis, J., Klatzky, R. & Golledge, R. (1990). A Minimal Representation for Dead-Reckoning Navigation: Updating the Homing. Vector. *Geographical Analysis*, 22(4), 326-335.
- Fuys, D. (1985). Van Hiele Levels of Thinking in Geometry. *Education and Urban Society*, 17(4), 447-462.

G.

- Gallistel, C. (1993). *The Organization of Learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gallistel, C. (1994). Space and Time. In N.J. Mackintosh (Ed.) *Animal learning and cognition. Handbook of perception and cognition*. (pp. 221-253. New York, NY: Academic.
- Gallistel, C. (2002). Stevens' Handbook of Experimental. Psychology, Learning, Motivation, and Emotion (3e éd.). New York, NY. : John Wiley & Sons.

- Galvez, G. (1985). *Une proposition pour l'enseignement de la géométrie à l'école primaire*. Thèse de doctorat, Centre d'investigation de l'IPN, Mexico.
- Galvez, P. (1985). *El aprendizaje de la orientación en el espacio urbano : una proposición para la enseñanza de la geometría en la escuela primaria*, Thèse de doctorate en Psychologie cognitive, Université de Mexico.
- Gaonac'h, D., & Larigauderie, P. (2000). *Mémoire et fonctionnement cognitif : La mémoire de travail*. Paris: Armand Colin.
- Gardner, M., Brazier, M., Edmonds, C. & Gronholm, P. (2013). Strategy Modulates Spatial Perspective-taking: Evidence for Dissociable Disembodied and Embodied Routes. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 457, 1-8.
- Garling, T. (1990). Is Elevation Encoded in Cognitive Maps? *J. env. Psychol.* 10, 341–351.
- Garling, T., Böök, A., & Lindberg, E. (1984). Cognitive Mapping of Large-Scale Environment: The Interrelationship of Action Plans, Acquisition, and Orientation. *Environment and Behavior*, 16, 3-34.
- Garling, T. & Golledge, R. (1987). Environmental Perception and Cognition. In Zube, E. & Moore, G. *Advances in Environment, Behavior and Design*, 2, New York, NY: Plenum, pp. 203-236.
- Garling, T & Golledge, R. (1989). Environmental Perception and Cognition. *Advances in environment, behavior and design*, 2, 203–236.
- Gaunet, F., Vidal, M., Kemeny, A., Berthoz, A. (2001). Active, Passive and Snapshot Exploration in a Virtual Environment: Influence on Scene Memory, Reorientation and Path Memory. *Cognitive Brain*, 11(3), 409–420.
- Gazova, I. Laczó, J., Rubinova, E., Mokrisova, I., Hyncicova, E., Andel, R., Vyhnalek, M., Sheardova, K., Coulson, E. & Hort, J. (2013). Spatial Navigation in Young Versus Older Adults. , *Frontiers in Aging Neurosciences*, 94(5), 105-115.
- Giordan, A. (1996). Les conceptions de l'apprenant : Un tremplin pour l'apprentissage. *Sciences humaines Hors-série*, 12, p. 48-50.
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (1994). *Les origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Gobert, S. (2001). Questions de didactique liées aux rapports entre la géométrie et l'espace sensible dans le cadre de l'enseignement à l'école élémentaire. *Actes du 30ème colloque Inter-IREM des formateurs et professeurs chargés de la formation des maîtres*. Avignon.
- Gobert, S. (2007). Conditions nécessaires à l'usage des dessins en géométrie. *Petit x*, 74, p. 34-59.

- Golledge, R. (1991). Cognition of Physical and Built Environments. In T., Garling, & G., Evans, (Eds.), *Environment, cognition, and action* (pp.35-63). New York, NY: Oxford University Press.
- Golledge, R. (1999). *Wayfinding Behavior, Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Golledge, R., Smith, T., Pellegrino, J., Doherty, S. & Marshall, S. (1985). A Conceptual Model and Empirical Analysis of Children's Acquisition of Spatial Knowledge. *Journal of Environmental Psychology*, 5(2), 125-152.
- Golledge, R. & Spector, A. (1978). Comprehending the Urban Environment: Theory and Practice. *Geographical Analysis*, 10, 403–26.
- Golledge, R. & Stimson, R. (1997). *Spatial Behavior, a Geographic Perspective*. New York, NY: The Guilford Press.
- Gomez, A. (2011). Rôle de la mise à jour égocentrée dans la mémoire épisodique. Thèse de doctorat en Sciences cognitives, Psychologie et Neurocognition. Université de Grenoble, Grenoble.
- Gould, J. (1982). The Map Sense of Pigeons. *Nature*, 296, 205–211.
- Gould, J. (1986). The Locale Map of Honey Bees: Do Insects Have Cognitive Maps? *Science*, 232, 861–863.
- Gould, P. & White, R. (1974). *Mental Maps*. Baltimore, MD : Penguin.
- Gras, R. (1996). *L'implication statistique: Nouvelle méthode exploratoire de données*. Recherches en didactique des mathématiques. Grenoble : La pensée sauvage.
- Gras, R. (2005). Panorama du développement de l'A.S.I. à travers des situations fondatrices. In *Actes de la 3^e Rencontre Internationale A.S.I.* (pp. 9–33), Palerme : Université de Palerme.
- Gras, D., Daniel, M.-P., Labiale, G., Piolino, P. & Gyselinck, V. (2012). Effect of Aging on Real Route Memorization: the Role of Working Memory and Episodic Memory. *Geriatry Psychology Neuropsychiatry Vieillissement*, Vol., 10(4), 5-25.
- Gras, R. & Régnier, J.-C. (2009). Fondements théoriques de l'analyse statistique implicative. In R. Gras (Ed.), *Analyse statistique implicative - Une méthode d'analyse de données pour la recherche de causalités* (pp. 17-51). Toulouse : Cépaduès.
- Grumbach, A. & Klinger, E. (2007). Virtuel et Cognition. *Intellectica*, 45, 7-22.
- Guérin, J.-P. (1989). Géographie et représentation. In Y., André, A., Bailly, R., Ferras, J.-P., Guérin & H., Gumuchian (Eds.), *Représenter l'espace*. (pp. 3-5), Paris: Anthropos.
- Guillot, A., Hoyek, N. & Collet, C. (2012). Mental Rotation and Functional Learning. In N. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp.2222-2223). Berlin: Springer.

Gutierrez, A. (1992). Exploring the Links Between Van Hiele and 3-dimensional Geometry. *Topologie Structurale*, 18, 31-47.

H.

Haas, V. (2004). Les cartes cognitives : un outil pour étudier la ville sous ses dimensions socio-historiques et affectives, *Bulletin de Psychologie*, 474, 621-633.

Hadermann, P. (1993). Étude morphosyntaxique du mot Où. Paris: Duculot.

Haggett, P. (1965). *Locational Analysis in Human Geography*. London: Arnold.

Hamburger, K. & Knauff, M. (2011). Squareland: a Virtual Environment for Investigating Cognitive Processes in Human Wayfinding. *PsychNology Journal*, 9(2), 137-163.

Harris, M. & Wolbers, T. (2012). Ageing Effects on Path Integration and Landmark Navigation. *Hippocampus*, 22(8), 1770-1780.

Hart, T. & Moore, G. (1973). The Development of Spatial Cognition: A Review. In R., Downs & D., Stea (Eds.), *Image and Environment* (pp. 246–288). Chicago: Aldine Press.

Hatwell, Y. (1986). *Toucher l'espace, la main et la perception tactile de l'espace*. Lille: Presses Universitaires de Lille.

Head, D. & Isom, M. (2010). Age Effects on Wayfinding and Route Learning Skills. *Behavioural Brain Research*, 209(1), 49-58.

Hegarty, M. & Waller, D. (2004). A Dissociation Between Mental Rotation and Perspective-Taking Spatial Abilities. *Intelligence*, 32(2), 175 - 191.

Herman, J., Blomquist, S. & Klein, C. (1987). Children's and Adults' Cognitive Maps of Very Large Unfamiliar Environments. *British Journal of Developmental Psychology*, 1, 61-72.

Herman, J., Miller, B. & Shiraki, J. (1987). The Influence of Affective Associations on the Development of Cognitive Maps of Large Environments, *J. env. Psychol.*, 7, 89–98.

Hirtle, S., Richter, K. & Srinivas, S. (2010). This Is The Tricky Part: When Directions Become Difficult. *Journal of Spatial Information Science*, 1, 53–73.

Hitch, G.J. & Baddeley, A.D. (1976). Verbal Reasoning and Working Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 28, 603-621.

Holscher, C., Meilinger, T., Vrachliotis, G., Brosamle M. & Knauff M. (2007). Up the Down Staircase: Wayfinding Strategies in Multi-Level Buildings. *Journal of Environmental Psychology*, 26(4), 284-299.

- Houdé, O. & Leroux, G. (2013). *Psychologie du développement cognitif*. Paris : Presses universitaires de France.
- Houdé, O. (2011). *La psychologie de l'enfant* (5^e éd.). Paris : Presses universitaires de France.
- Humphreys, L., Lubinski, D., & Yao, G. (1993). Utility of Predicting Group Membership and the Role of Spatial Visualization in Becoming an Engineer; Physical Scientist; or Artist. *Journal of Applied Psychology*, 78(2), 250–261.
- Huriot, J. & Perreur, J. (2002). *Distances, espaces et représentations, une revue*. Université de Bourgogne, France.
- Huynh, N T & Doherty, S T. (2007). Digital Sketch-Map Drawing as an Instrument to Collect Data about Spatial Cognition. *Cartographica*, 42(4), 285-296.

J.

- Ishikawa, T., Fujiwara, H., Imai, O. & Okabe, A. (2008). Wayfinding with a GPS-Based Mobile Navigation System: A Comparison with Maps and Direct Experience. *Journal of Environmental Psychology*, 28, 74-82.
- Ittelson, W. (1973). Environment Perception and Contemporary Perceptual Theory. In W. Ittelson (Ed.), *Environment and Cognition* (pp.193-213). New York, NY: Seminar Press.

J.

- Jansen-Osmann, P. (2002). Using Desktop Virtual Environments to Investigate the Role of Landmarks. *Computer Human Behavior*, 18(4), 427-436.
- Jansen-Osmann, P. & Berendt, B. (2002). Investigating Distance Knowledge Using Virtual Environments. *Environment and Behavior*, 34(2), 178-193.
- Jansen-Osmann, P., & Fuchs, P. (2006). Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge of Adults and Children in a Virtual Environment: the Role of Landmarks. *Journal of Experimental Psychology*, 53(3), 171–181.
- Jansen-Osmann, P. & Heil, M. (2007). The Process of Spatial Knowledge Acquisition in a Square and a Circular Virtual Environment. *Advances in Cognitive Psychology*, 3(3), 389-397.
- Jansen-Osmann, P., Schmid, J. & Heil, M. (2007a). Spatial Knowledge of Adults and Children in a Virtual Environment: The Role of Environmental Structure. *European Journal of Developmental Psychology*, 4(3), 251-272.

- Jansen-Osmann, P., Schmid, J. & Heil, M. (2007 b). Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge of Adults and Children in a Virtual Environment: The Role of the Environmental Structure. *Swiss Journal of Psychology*, 66(1), 41-50. .
- Jansen-Osmann, P., Schmid, J. & Heil, M. (2007c). Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge of Adults and Children in a Virtual Environment: The Role of the Environmental Structure. *Swiss Journal of Psychology*, 66(1), 41-50.
- Jansen-Osmann, P. & Wiedenbauer, G. (2004). Wayfinding Performance in and the Spatial Knowledge of a Color-coded Building for Adults and Children, *Spatial Cognition & Computation*, 4, 337–358.
- Jansen, P., Wiedenbauer, G. & Hahn, N. (2010). Manual Rotation Improves Direction-Estimations in a Virtual Environmental Space. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(1), 6-17.
- Janzen, G. (2006). Memory for Object Location and Route Direction in Virtual Large-Scale Space. *Journal of Experimental Psychology*, 59(3), 493-508.
- Jarrosso, B. (1992). *Invitation à la philosophie des sciences*. Paris : Seuil.
- Jensen, R. (2006). Behaviorism, Latent Learning, and Cognitive Maps: Needed Revisions in Introductory Psychology Textbooks. *The Behavior Analyst*, 29 (2), 187–209.
- Jonnaert, Ph., Ettayebi, M. & Defise R. (2009). *Curriculum et compétences. Un cadre opérationnel*. Bruxelles: De Boeck.
- Just, M. & Carpenter, P. (1985). Cognitive Coordinate Systems: Accounts of Mental Rotation and Individual Differences in Spatial Ability. *Psychol. Rev.*, 92, 137-172.

N

- Kahane, J.-P. (2002). *L'enseignement des sciences mathématiques*. Paris: Odile Jacob.
- Kato Y. & Takeuchi Y. (2003). Individual Differences in Wayfinding Strategies. *Journal of Environmental Psychology*, 23(2), 171-188.
- Kaufman, S. (2007). Sex Differences in Mental Rotation and Spatial Visualization Ability: Can They Be Accounted for by Differences in Working Memory Capacity? *Intelligence*, 35(3), 211-223.
- Kelly, D. & Gibson, B. (2007). Spatial Navigation: Spatial Learning in Real and Virtual Environments. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 2, 111-124.

- Kemmerer, D. (2006). The Semantics of Space: Integrating Linguistic Typology and Cognitive Neuroscience. *Neuropsychologia*, 44(9), 1607-1621.
- Kitchin, R. (1994). Cognitive Maps: What Are They and Why Study Them? *Journal of Environmental Psychology*, 14(1), 1-19.
- Kitchin, R. (2000). Collecting and Analysing Cognitive Mapping Data, In R. Kitchin, and S. Freundschuh (Eds.), *Cognitive Mapping Past, Present and Future* (pp.9-23), London: Routledge.
- Kitchin, R. & Blades, M. (2002). *The Cognition of Geographic Space*. London/New York, NY: I. B. Tauris.
- Klatzky, R.L. (1998). Allocentric and Egocentric Spatial Representations: Definitions, Distinctions, and Interconnections. In C. Freksa, C. Habel & K.F. Wender (Eds.), *Spatial Cognition, An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge. Lecture Notes in Artificial Intelligence* (pp.1-17). Berlin : Springer.
- Klinger, E. (2008). *Apports de la Réalité virtuelle à la Prise en Charge du Handicap*. Paris : Techniques de l'ingénieur.
- Klinger, E., Marie, R.-M. & Fuchs, P. (2006). Réalité virtuelle et sciences cognitives Applications en psychiatrie et neuropsychologie, *Cognito*, 3 (2), 1-31.
- Klippel, A., Tappe, H. & Habel, C. (2003). Pictorial Representations of Routes: Chunking Route Segments During Comprehension. In: C. Freksa, C., W. Brauer, W., C. Habel & C., K.F. Wender, K.F. (Eds.), *Spatial Cognition III. Routes and Navigation, Human Memory and Learning, Spatial Representation and Spatial Learning, Lecture Notes in Artificial Intelligence* (pp. 11-33). Berlin: Springer.
- Knight, K. (2006). *An Investigation Into the Change in the Van Hiele Levels of Understanding Geometry of Pre-service Elementary and Secondary Mathematics Teachers*. Thèse de doctorat en Sciences de l'Education, University of Maine, USA.
- Kosslyn, S. (1980). Les images mentales. *La Recherche*, 108, 156-164.
- Krings, F. (2009). *Psychomotricité à l'école maternelle - Les situations motrices au service du développement de l'enfant*. Bruxelles: De Boeck.
- Kuipers, B. (1982). The « Map in the Head » Metaphor. *Environment and Behavior*, 14(2), 202-220.

- Labate, E., Pazzaglia, F. & Hegarty, M. (2013). What Working Memory Subcomponents are Needed in the Acquisition of Survey Knowledge? Evidence from Direction Estimation and Shortcut Tasks. *Journal of Environmental Psychology*, 37(3), 73–79.
- Laborde, C. (1988). L’enseignement de la géométrie en tant que terrain d’exploration de phénomènes didactiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 337-364.
- Lafon, M. (2008). *Navigation humaine dans des environnements complexes : contribution des indices kinesthésiques et effet d’a priori*. Thèse de doctorat en Sciences cognitives, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- Lafon, M., Vidal, M. & Berthoz, A. (2009). Selective Influence of Prior Allocentric Knowledge on the Kinesthetic Learning of a Path. *Experimental Brain Research*, 194(4), 541-52.
- Lafontaine, D. (2009). *L’enquête PISA 2000 : performances en lecture et engagement chez les jeunes de 15 ans*, Service de pédagogie expérimentale, Université de Liège.
- Lambrey, S., & Berthoz, A. (2003). Combination of Conflicting Visual and Non-Visual Information for Estimating Actively Performed Body Turns in Virtual Reality. *International Journal of Psychophysiology*, 50, 101-115.
- Lambrey, S. (2005). *Construction et utilisation des représentations mentales de l’espace chez l’homme*. Thèse de doctorat en Sciences Cognitives, Université de Paris VI, Paris.
- Larrue, F. (2011). *Influence des interfaces dans le transfert du virtuel au réel*. Thèse de doctorat en Sciences Cognitives. Université de Bordeaux.
- Laurendeau, M. & Pinard, A. (1962). *Causal Thinking in The Child*. New York, NY: International Universities Press.
- Laurendeau, M. & Pinard, A. (1968). *Les premières notions spatiales de l’enfant*. Neuchatel : Delachaux & Niestlé.
- Laurin, S. (1999). Géographie et éducation. *Cahiers de Géographie du Québec*, 43(120), 379-392.
- Lechevalier, B., Eustache, F. & Viader, F. (2008). *Traité de neuropsychologie clinique*. Bruxelles : De Boeck Supérieur « Neurosciences & cognition ».
- Lécuyer, R. (1989). Habituation and Attention, Novelty and Cognition: Where is the Continuity? *Human Development*, 32, 148-157.
- Lee, T. (1964). Psychology and Living Space. *Transactions of the Bartlett Society*, 2, 11-37.

- Legendre, M. (2004). Cognitivism et socioconstructivisme : des fondements théoriques à leur utilisation dans l'élaboration et la mise en œuvre du nouveau programme de formation. In P. Jonnaert, & A. M'Batika (Eds.), *Les réformes curriculaires : Regards croisés* (pp.15-47). Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Legendre, M. (2008). La notion de compétence au cœur des réformes curriculaires : effet de mode ou moteur de changement en profondeur ? In F. Audigier & N. Tutiaux-Guillon (Eds.), *Compétences et contenus les curriculums en questions*. (pp. 27-50). Bruxelles : De Boeck.
- Legendre-Bergeron, M.-F (1980). *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*. Québec : Gaëtan Morin.
- Lehalle, H. & Mellier, D. (2013). *Psychologie du développement : Enfance et adolescence, cours et exercices*. Paris : Dunod.
- Leplow, B., Lehnung, M., Pohl, J. Herzog, A. Ferstl, R. & Mehdorn, M. (2003). Navigational Place Learning in Children and Young Adults as Assessed with a Standardized Locomotor Search Task. *British Journal of Psychology*, 94, 299-317.
- Létor, C. & Vandenberghe, V. (2003). L'accès aux compétences est-il plus (in)équitable que l'accès aux savoirs traditionnels ? *Cahier de recherche du GIRSEF*, 25, 1-17.
- Levinson, S. (1996). *Frames of Reference and Molyneux's Question: Crosslinguistic Evidence*. In P. Bloom, M.A. Peterson, L. Nadel, M.F. Garrett, M.F. (Eds.), *Language and space: Language, Speech and Communication* (pp. 109-169). Cambridge, MA: MIT Press,
- Levinson, S. (2003). *Space in Language and Cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Liben, L. (1982). Children's Large-Scale Spatial Cognition: Is the Measure the Message? In R. Cohen (Ed.), *New Directions in Child Development: Children's Conception of Their Spatial Representations* (pp.51-64). San Francisco: Jossey-Bass.
- Lind, S., Williams, D., Raber, J., Peel, A. & Bowler, D. (2013). Spatial Navigation Impairments Among Intellectually High-Functioning Adults With Autism Spectrum Disorder: Exploring Relations With Theory of Mind, Episodic Memory, and Episodic Future Thinking. *Journal Abnormal Psychology*, 122(4), 1189-1199.
- Ling, J. & Blades, M. (2002) Further Evidence for Automatic Encoding of Colour by Children and Adults. *British Journal of Developmental Psychology*, 20, 537-544.
- Lingwood, J., Blades, M. Farran, E., Courbois, Y. & Matthews, D. (2015). The Development of Wayfinding Abilities in Children: Learning Routes With and Without Landmarks. *Journal of Environmental Psychology*, 41, 74-80.

- Logie, R. & Pearson, D. (1997). The Inner Eye and the Inner Scribe of Visuo-spatial Working Memory: Evidence from Developmental Fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(3), 241-257.
- Lohman, D. (1996). Spatial Ability and G. In I. Dennis & P. Tapsfield (Eds.), *Human Abilities: Their Nature and Assessment* (pp.97–116). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lohman, D. & Snow, R. (1979). Effects of aptitudes, Strategy Training and Task Facets on Spatial Task Performance. *Journal of Educational Psychology*, 76(1), 130-145.
- Loranger, M., Pepin, M., Cote, M., Boisvert, J.-M. & Blais, M. (2000). Performance Differences Between Adolescent Boys and Girls Assigned Four Visual-spatial Skills Tasks, *Canadian Psychology*, 41(1), 61-68.
- Lorenz, C. & Neisser, U. (1986). *Ecological and Psychometric Dimensions of Spatial Ability*. Atlanta : Emory University.
- Louail, T. (2010). *Comparer les morphogenèses urbaines en Europe et aux Etats-Unis par la simulation à base d'agents - Approches multi-niveaux et environnements de simulation spatiale*. Thèse de doctorat en Informatique, Université d'Evry, Evry.
- Lubart, T. (2006). *Enfants exceptionnels: Précocité intellectuelle, haut potentiel et talent*. France : Bréal.
- Lunkenbein, D. (1982). Géométrie dans l'enseignement au primaire. *Instantanés mathématiques*, 5-15.
- Lynch, K. (1960). *The image of the City*. Cambridge: MIT Press.
- M.*
- Malinowski, J. (2001). Mental Rotation and Real-World Wayfinding. *Perceptual and Motor Skills*, 92, 19-30.
- Mallot, H. (1999). Spatial Cognition: Behavioral Competences, Neural Mechanisms, and Evolutionary Scaling. *Kognitionswissenschaft*, 8, 40-48.
- Mandler, J. (1983). Representation. In P. Mussen (Ed.), *Handbook of Child Psychology*. Vol. III (4^e éd.) (pp. 420-494). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Marchand, P. (2006). Comment développer les images mentales liées à l'apprentissage de l'espace en trois dimensions ? *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 11, 103-121.
- Marchand, P. (2009). Le développement du sens spatial au primaire. *Bulletin AMQ*, XLIX(3), 63-79.

- Mathé, A. – C. (2008). Confrontation aux objets et processus de conceptualisation en géométrie à la fin de l'école primaire, rôle des interactions langagières (contribution 3). *Efficacité et équité en éducation*, 1-14.
- Mathé, A. - C. (2012). Jeux et enjeux de langage dans la construction de références partagées en classe de géométrie. *Recherches en Didactique des Mathématiques, Grenoble : La Pensée Sauvage*, 32(2), 195-228.
- McGee, M. (1979). *Human Spatial Abilities: Sources of Sex Differences*. New York, NY: Praeger.
- Meilinger, T. (2008). *Strategies of Orientation in Environmental Spaces*. Berlin : Logos Berlag.
- Meilinger, T. & Knauff, M. (2008). Ask for Directions or Use a Map: A Field Experiment on Spatial Orientation and Wayfinding in an Urban Environment. *Spatial Science*, 53(2), 13-24.
- Mellet-d'Huart, D. & Michel, G. (2006). Réalité virtuelle et apprentissage. In M. Grandbastien & J.-M. Labat (Eds.) *Les environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain* (chapitre 11). Paris : Hermes. Collection "Traité IC2 Information Commande Communication".
- Mengue-Topio, H. (2011). *Elaboration des connaissances spatiales et wayfinding chez la personne déficiente intellectuelle : apports des environnements virtuels*, Thèse de doctorat en Psychologie, Université de Lille.
- Menzel, E. (1973). Chimpanzee Spatial Memory Organization. *Science*, 182, 943–945.
- Merenne-Schoumaker, B. (2007). L'enseignement de la géographie en Belgique francophone. *Cahiers pédagogiques*. En ligne <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/70598/1/Merenne%20Cahiers%20p%C3%A9dagogiques%2008.pdf> consulté le 10 novembre 2013.
- Meyer, E. (1935). La représentation des relations spatiales chez l'enfant. *Cahiers de Pédagogie Expérimentale et de Psychologie de l'Enfant*, 8, 1-16.
- Milgram, S. & Jodelet, D. (1976). Psychological Maps of Paris. In H. Proshansky, W. Ittelson, and L. Rivlin (Eds.), *Environmental psychology* (2nd ed.) New York : Holt, Rinehart, and Winston.
- Miller (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*, 63, 81-97.

Ministère de la Communauté Française (1997). *Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre*, Administration Générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, Service général des Affaires pédagogiques, de la Recherche en Pédagogie et du Pilotage de l'Enseignement organisé par la communauté française.

Ministère de la Communauté Française (1999a). *Socles de compétences. Enseignement fondamental et premier degré de l'enseignement secondaire*. Enseignement de la communauté française, Administration Générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, Service général des Affaires pédagogiques, de la Recherche en Pédagogie et du Pilotage de l'Enseignement organisé par la communauté française.

Ministère de la Communauté Française (1999b). *Compétences terminales et savoirs requis en géographie. Humanités générales et technologiques*. Enseignement de la communauté française, Administration Générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, Service général des Affaires pédagogiques, de la Recherche en Pédagogie et du Pilotage de l'Enseignement organisé par la communauté française.

Ministère de la Communauté Française (2000). *Programme d'études du cours de géographie. Enseignement secondaire ordinaire de plein exercice*. Enseignement de la communauté française, Administration Générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, Service général des Affaires pédagogiques, de la Recherche en Pédagogie et du Pilotage de l'Enseignement organisé par la communauté française.

Ministère de la Communauté Française (2000). *Programme d'études du cours de mathématiques. Enseignement secondaire ordinaire de plein exercice*. Enseignement de la communauté française, Administration Générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, Service général des Affaires pédagogiques, de la Recherche en Pédagogie et du Pilotage de l'Enseignement organisé par la communauté française, p. 25.

Ministère de la Communauté Française (2008). *Programme des études. Enseignement fondamental. Volume 1*. Enseignement de la communauté française, Administration Générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, Service général des Affaires pédagogiques, de la Recherche en Pédagogie et du Pilotage de l'Enseignement organisé par la communauté française.

Ministère de la Communauté française de Belgique. (1997). *Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre*. En ligne http://www.gallilex.cfwb.be/document/pdf/21557_004.pdf consulté le 29 octobre 2014.

- Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles (2012a). Résultats et commentaires. 2^e année de l'enseignement primaire. Évaluation Externe Non Certificative 2011 de Mathématiques. Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique.
- Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles. (2012b). Résultats et commentaires. 2^e année de l'enseignement secondaire. Évaluation Externe Non Certificative 2011 de Mathématiques. Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique.
- Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles. (2012c). Résultats et commentaires. 5^e année de l'enseignement primaire. Évaluation Externe Non Certificative 2011 d'éveil géographique. Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique.
- Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles. (2012d). Résultats et commentaires. 5^e année de l'enseignement primaire. Évaluation Externe Non Certificative 2011 de Mathématiques, Grandeurs - Solides. Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique.
- Mittelstaedt, M. & Glasauer, S. (1991). Idiothetic Navigation in Gerbils and Humans. *Zoology Journal of Physiology*, 95, 427–435.
- Mittelstaedt, M. & Mittelstaedt, H. (1980). Homing by Path Integration in a Mammal. *Naturwissenschaften*, 67, 566–567.
- Moles, A. & Rohmer, E. (1978). *Psychologie de l'espace*, Paris : Casterman.
- Monnet, J. (1999). *Interpréter et aménager. Eléments d'une géographie du monde. Synthèse*. HDR. Toulouse-Le-Mirail.
- Montangero J. & Maurice-Naville D. (1994). *Piaget ou l'intelligence en marche*. Belgique : Pierre Mardaga.
- Montangero, J. (2001). Pourquoi tant de critiques à l'œuvre de Piaget ? *Intellectica*, 2(33), 245-273.
- Montello, D. (1991). Spatial Orientation and the Angularity of Urban Routes. A Field Study. *Environment & Behavior*, 23(1), 47-69.
- Montello, D. (1993). Scale and Multiple Psychologies of Space. In A. Frank, & I. Campari (Eds.), *Spatial Information: A Theoretical Basis for GIS* (pp.312-321). Berlin: Springer.
- Montello, D. (2001). Spatial Cognition. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Science* (pp. 14771-14775). Oxford: Pergamon Press.

- Montello, D. & Freundschuh, S. M. (1995). Sources of Spatial Knowledge and Their Implications for GIS: An introduction. *Geographical Systems*, 2, 169-176.
- Moore, G., & Golledge, R. (1976). *Environmental Knowing: Theories, Research and Methods*. Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson & Ross.
- Morris, R. (1981). Spatial Localization Does Not Require the Presence of Local Cues. *Learn. Motiv.* 12, 239–260.
- Morris, R. (1984). Development of a Water-Maze Procedure for Studying Spatial Learning in the Rat, *J. Neurosci. Methods*, 11, 47–60.
- Moser, E., Kropff, E. & Moser, M. (2008). Place Cells, Grids Cells, and the Brain's Spatial Representation System. *Annual Review of Neuroscience*, 31, 69-89.
- Mounoud, P. (1997). Coordination des points de vue et attribution de croyances : de la théorie de Piaget aux théories « naïves » de l'esprit. *Psychologie Française*, 42(1), 31-43.
- Mounoud, P. (2004). Le développement cognitif selon Piaget. In O. Houdé & C. Meljac (Eds.), *L'esprit piagétien* (2^e éd.). France : Presses Universitaires de France.
- Münzer, S. & Hölscher, C. (2011). Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zu räumlichen Strategien. *Diagnostica*, 57(3), 111-125.
- Munzer, S., Zimmer, H., Schwalm, M., Baus, J. & Alsan, I. (2006). Computer-Assisted Navigation and the Acquisition of Route and Survey Knowledge. *Journal of Environmental Psychology*, 26(4), 300-308.

N.

- Nadeau, M. (1988). *L'évaluation de programme : théorie et pratique*. Québec: Presses de l'Université Laval.
- Nagy-Kondor, R. (2014). Importance of Spatial Visualization Skills in Hungary and Turkey: Comparative Studies. *Annales Mathématiques et Informatiques*, 43, 171–181.
- National Research Council. (2006). *Learning to Think Spatially: GIS as a Support System in the K–12 Curriculum*. Washington, DC: National Academic Press.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology*. San Francisco: W.H. Freeman & Co.
- Nunally, J., (1978). *Psychometric theory* (2e éd.). New-York, NY : McGraw-Hill.

Nys, M., Gyselinck, V., Orriols, E. & Hickmann, M. (2015). Landmark and Route Knowledge in Children's Spatial Representation of a Virtual Environment. *Frontiers in Psychology*, 5.

C.

Okabe, A., Aoki, K. & Hamamoto, W. (1986). Distance and Direction Judgement in a Large-Scale Natural Environment. Effects of Slope and Winding Trail. *Environment and Behaviour*, 18(6), 755-772.

O'Keefe J & Dostrovsky J. 1971. The Hippocampus as a Spatial Map. Preliminary Evidence from Unit Activity in the Freely-Moving Rat. *Brain Research*, 34(1), 171-175.

O'Keefe, J. & L. Nadel (1978). *The Hippocampus as a Spatial Map*. Oxford : Clarendon Press.

OCDE (2003). *Compétences pour le monde de demain, Résultats supplémentaires à l'enquête PISA 2000, Résumé*. France : Unesco. En ligne <http://www.oecd.org/fr/edu/scolaire/2960479.pdf> consulté le 25/01/2015.

OCDE (2004). Apprendre aujourd'hui, réussir demain. Premiers résultats de PISA 2003, Paris : PISA OCDE.

OCDE (2014). *Résultats du PISA 2012 : Savoirs et savoir-faire des élèves : Performance des élèves en mathématiques, en compréhension de l'écrit et en sciences* (vol. 1), Paris : PISA OCDE.

Orban, P., Rauchs, G., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A. & Maquet, P. (2006). Sleep After Spatial Learning Promotes Covert Reorganization of Brain Activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(18), 7124-7129.

Osberg, K. (1993). *Virtual Reality and Education: A Look at Both Sides of the Sword*, Technical R-93-7. Seattle: Human Interface Technology Lab. En ligne <http://ftp.hitl.washington.edu/projects/education/puzzle/spatial-cognition.html> consulté le 02/03/2013.

Overman, W., Pate, B., Bobbi J., Moore, K., Peuster, A. (1996). Ontogeny of Place Learning in Children as Measured in the Radial Arm Maze, Morris Search Task, and Open Field Task. *Behavioral Neuroscience*, 110(6), 1205-1228.

- Paivio, A. (1986). *Mental Representations. A Dual Coding Approach*. New York, NY: Oxford University Press.
- Paivio, A. (1991). Dual Coding Theory: Retrospect and Current Status. *Canadian Journal of Psychology*, 45(3), 255-287.
- Paoletti, R. (2003). *Éducation et motricité: L'enfant de deux à huit ans* (3^e éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Parzysz, B. (1988). «Knowing» vs «seeing». Problems of the Plane Representation of Space Geometry Figures. *Educational Studies in Mathematics*, 19(1), 78-91.
- Passini, R. (1994). *Wayfinding in Architecture*. London: Van Nostrand Reinhold.
- Pêcheux, M. (1990). *Le développement des rapports des enfants à l'école*. Paris: Nathan.
- Pennel, I., Coello, Y. & Orliaguet, J-P. (2001). Les relations perception-action face aux nouvelles technologies : adaptation et apprentissage en situation de télémanipulation. In Y. Coello & J. Honoré (Eds). *Percevoir, s'orienter et agir dans l'espace : approche pluridisciplinaire des relations perception-action* (pp.267-281). Marseille: Solal.
- Perrenoud, P. (2000). *Construire des compétences dès l'école*. Paris: ESF.
- Perrenoud, P. (1995). *La fabrication de l'excellence scolaire : du curriculum aux pratiques d'évaluation* (2^e éd.). Genève: Droz.
- Perrin-Glorian, M. – J., Mathé, A.-C., Leclercq, R. (2013). Comment peut-on enseigner la continuité de l'enseignement de la géométrie de 6 à 15 ans? Le jeu sur les supports et les instruments. *Repères*, 90, 5-41.
- Perrin-Glorian M.J. et Salin M.H. (2010), Didactique de la géométrie. Peut-on commencer à faire le point ? In *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques*, (pp. 47-81). Paris : Université Paris-Diderot.
- Péruch, P. & Corazzini, L. (2006). Se déplacer et naviguer dans l'espace. In P. Fuchs, G. Moreau, A. Berthoz & J.-L. Vercher (Eds.), *Le traité de la réalité virtuelle, Vol. 1.* (pp. 189-204). Paris: Les Presses des Mines de Paris.
- Péruch, P., Firaudo, K. & Garling, T. (1989). Distance Cognition by Taxi Drivers and the General Public. *Journal of Environmental Psychology*, 9, 233–239.

- Peters, D., Wu, Y. & Winter, S. (2010). Testing Landmark Selection Theories in Virtual Environment. In C. Hölscher et al. (Eds.), *Spatial Cognition VII. Lecture Notes in Artificial Intelligence* (pp. 54-69). Berlin: Springer.
- Piaget, J. (1923). *Le langage et la pensée chez l'enfant*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J. (1947a). *La représentation du monde chez l'enfant* (3e éd.). Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1947b). *La psychologie de l'intelligence*. Paris: Armand Colin.
- Piaget, J. (1960). *Problèmes de la construction du nombre. Etudes d'épistémologie génétiques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1948/1972). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The Child's Conception of Space*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1977). Mental images. In H. E. Gruber & J. J. Vonèche (Eds.), *The essential Piaget* (pp. 652-684). New York : Basic Books.
- Piaget, J. & Szeminska, A. (1940). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchatel: Delachaux et Niestlé.
- Pick, H. & Lockman, J. (1981). From Frames of Reference to Spatial Representations. In L. Liben. A. Patterson, A., N. Newcombe (Eds.), *Spatial Representation and Behavior Across the Life Span* (pp. 39-61). New York, NY: Academic Press.
- Pick, H., Rieser, J., Wagner, D. & Garing, A. (1999). The Recalibration of Rotational Locomotion. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception & Performances*, 25(5), 1179–1188.
- Pierre, P. & Soppelsa, R., (1998). Evaluation clinique des troubles de l'orientation dans les grands espaces. *Evolutions psychomotrices*, 10(42), 205-214.
- Pinchemel, P. (1966). *La valeur et l'esprit de la géographie*. In Commission de l'Enseignement de la Géographie de l'Union Géographique Internationale. L'enseignement de la géographie (pp. 21-43). Collection Unesco programmes et méthodes d'enseignement.
- Poucet, B. (1993). Spatial Cognitive Maps in Animals: New Hypotheses on Their Structure and Neural Mechanisms. *Psychological Review*, 100, 163–182.
- Poucet, B. (2008). Mémoires de rat... *La revue pour l'histoire du CNRS*, 21. En ligne <http://histoire-cnrs.revues.org/7472> consulté le 13/02/2015.

- Poucet B, Save E (2009) Spatial Cognitive Maps. In : L. Squire (Ed.) *Encyclopedia of Neuroscience*, pp 181–186.
- Poulin-Dubois, D. (2007). Le développement cognitif de 0 à 2 ans : les fondements du développement ultérieur. In P. Lemaire & A. Blaye (Eds.), *Psychologie du développement cognitif de l'enfant* (pp. 1-432). Belgique: De Boeck.
- Presson, C., Delange, N., Hazelrigg, M. (1989). Orientation Specificity in Spatial Memory: What Makes a Path Different From a Map of the Path? *Journal Experimental Psychology Learning Memory Cognition*, 15, 887-897.
- Presson, C. & Hazelrigg, M. (1984). Building Spatial Representations Through Primary and Secondary Learning. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 10, 716-722.
- Presson, C., & Montello, D. (1988). Points of Reference in Spatial Cognition: Stalking the Elusive Landmark. *British Journal of Developmental Psychology*, 6(4), 378–381.
- Purser, H., Farran, E., Courbois, Y., Lemahieu, A., Mellier, D., Sockeel, P., Blades, M. (2012). Short-term Memory, Executive Control, and Children's Route Learning. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(2), 273-285.
- Pylyshin, Z. (1981). The Imagery Debate: Analogue Media Versus Facit Knowledge. *Psychological Review*, 88(1), 16-45.

Q.

- Quesnot, T. & Roche, S. (2015). Measure of Landmark Semantic Salience Through Geosocial Data Streams. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(1), 1-31.

R.

- Ramadier, T. (2003). Les représentations cognitives de l'espace : modèles, méthodes et utilité. In G. Moser & K. Weiss (Eds.), *Espaces de vie : aspects de la relation homme-environnement* (pp. 177-200). Paris : A. Colin.
- Ramadier, T. & Depeau, S. (2010), Approche méthodologique (JRS) et développementale de la représentation de l'espace quotidien de l'enfant. , In I. Danic I., O. David & O. et S. Depeau S. (Eds.dir.), *Enfants et jeunes dans les espaces du quotidien* (pp.61-74), France : Presses Universitaires de Rennes.

- Ranck J. (1985). Head Direction Cells in the Deep Cell Layer of Dorsal Presubiculum in Freely Moving Rats. In: G., Buzsáki, C., Vanderwolf (Eds). *Electrical Activity of the Archicortex* (pp. 217–220). Budapest: Akademiai Kiado.
- Redish, A. (1999). *Beyond the Cognitive Map: From Place Cells to Episodic Memory*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Reuter, Y. (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- Rey, B., Carette, V., Defrance, A. & Kahn, S. (2006). *Les compétences à l'école. Apprentissage et évaluation*. Bruxelles: De Boeck & Larcier.
- Richter, K., & Klippel, A. (2007). Before or After: Prepositions in Spatially Constrained Systems. In T. Barkowsky, M. Knauff, G. Ligozat, & D. Montello (Eds.), *Spatial Cognition V—Reasoning, Action, Interaction* (pp.453–469). , Berlin: Springer.
- Rodrigo, T. (2002). Navigational Strategies and Models. *Psicologica*, 23, 3-32.
- Roegiers, X. (1997). *Analyser une action d'éducation ou de formation*. Bruxelles: De Boeck.
- Roegiers, X. (2000). *Une pédagogie de l'intégration : compétences et intégration des acquis dans l'enseignement*. Paris-Bruxelles: De Boeck Université.
- Rosenberg, M. (2003). Contribution à une réflexion géographique sur les représentations et l'espace, *Géocarrefour*, 78(1), 71-77.

S

- Saarinén, T. (1988). Centering of Mental Maps of the World. *National Geographic Research*, 4(1), 112-127.
- Sadalla, E. K., & Staplin, L. (1980). The Perception of Traversed Distance: Intersections. *Environment & Behavior*, 12(2), 167-182.
- Salin, M. (2008). Enseignement et apprentissage de la géométrie à l'école primaire et au début du collège: le facteur temps. *Bulletin de l'APMEP*, 478, 647-671. En ligne <http://www.apmep.fr/IMG/pdf/Salin-2.pdf>.
- Samuel, F. & Maurer, R. (2005). An Investigation of Path Integration (Dead Reckoning): Humans in a Maze. *Proceedings of Conference of the Royal Institute of Navigation: "Orientation and Navigation - Birds, Humans and Other Animals"*, Reading, UK.

- Satalich, G. (1995). *Navigation and Wayfinding in Virtual Reality: Finding Proper Tools and Cues to Enhance Navigation Awareness*. Thèse de doctorat en Sciences de l'Ingénieur. Université de Washington, Washington. En ligne <http://www.hitl.washington.edu/publications/satalich/home.html> consulté le 05/02/2013.
- Scholl, M. (1993). Cognitive Maps as Orienting Schemata. *Cognition*, 4, 615-628.
- Scribante, V. (2000). *L'impact de Deux Facteurs d'influence sur l'acquisition des connaissances spatiales*. Mémoire de maîtrise. Genève : Université de Genève.
- Shallice, T. & Warrington, E. (1970). Independent Functioning of Verbal Memory Stores: A Neuropsychological Study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, 261-273.
- Shambaugh, N., & Magliaro, S. G. (2006). *Instructional Design: A Systematic Approach for Reflective Practice*. Boston : MA Allyn and Bacon.
- Shepard, R., & Metzler, J. (1971). Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. *Science*, 171, 701-703.
- Siegel, A. & White, S. (1975). *The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments*. New York, NY: Academic Press.
- Siegel, A. & White, S. (1975). *The Development of Spatial Representations of Large-scale Environments*. New York, NY: Academic Press.
- Sierra, PH. (2011). *La géographie : concepts, savoirs et enseignements*. Paris : Armand Colin.
- Sivesind, K.(2013). Mixed Images and Merging Semantics in European Curricula, *Journal of Curriculum Studies*, 45 (1), 52-66.
- Smith, A. (2015). Spatial Navigation in Autism Spectrum Disorders: a Critical Review. *Frontiers in Psychology*, 31(6), 114-131.
- Society for Science and the Public. (2015). *Neuroscientists garner Nobel for discovering brain's 'inner GPS'*. En ligne <https://www.sciencenews.org/article/neuroscientists-garner-nobel-discovering-brain%E2%80%99s-%E2%80%98inner-gps%E2%80%99>.
- Soetewey S., Duroisin N. & Demeuse M. (2011). Le curriculum oublié: Analyse comparée des programmes de sciences en Belgique francophone. *Revue Internationale d'Education de Sèvres*, 56, 123-133.
- Soetewey, S., Demeuse, M., Duroisin, N., Letor, C., Malaise, S. (2014). *Diversité et finalités des dispositifs et outils d'évaluation des compétences. Quelle(s) cohérence(s), en C. f. de Belgique, dans un système initialement construit autour de la liberté d'enseignement ?* Bruxelles: De Boeck.

- Sorby, S. & Baartmans B. (1996). *Improving the 3-D Spatial Visualisation Skills of Women Engineering Students*. ASEE Annual Conference Proceedings. Washington.
- Sorby, S.A., 1999, Developing 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 63, 21-32.
- Sowell, E. (1989). Effects of Manipulative Materials in Mathematics Instruction. *Journal for Research in Mathematics Education*, 20 (5), 498-505.
- Spiers, H. & Maguire, E. (2008). The Dynamic Nature of Cognition During Wayfinding. *Journal of Environmental Psychology*, 28(3), 232-249.
- Spork, J.-A. & Tulippe, O. (1966). Intérêt et valeur éducative de la géographie. In Commission de l'Enseignement de la Géographie de l'Union Géographique Internationale. *L'enseignement de la géographie* (pp. 13-20). Paris : Collection UNESCO programmes et méthodes d'enseignement.
- Stankiewicz, B., Legge, G., Mansfield, J. & Schlicht, E. (2006). Lost in Virtual Space: Studies in Human and Ideal Spatial Navigation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(3), 688-704.
- Steck, S. & Mallot, H. (2000). The Role of Global and Local Landmarks in Virtual Environment Navigation. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 9(1), 69-83.
- Stone, J. & MacBeath, M. (2010). Gender Differences in Distance Estimates When Exposed to Multiple Routes Environment and Behavior. *Environment and Behavior*, 42(4), 469-478.
- St-Pierre, M.-C., Dalpé, V., Lefebvre, P. & Giroux, C. (2010). *Difficultés de lecture et d'écriture. Prévention et évaluation orthophonique auprès des jeunes*. Canada : Presses de l'Université du Québec.
- Suydam, M. N. (1986). Research Report: Manipulative Materials and Achievement. *Arithmetic Teacher* 33 (6): 10.

T.

- Tardif, J. (2006). *L'évaluation des compétences. Documenter le parcours de développement*. Montréal: Chenelière Éducation.
- Taube, J., Muller, R., Ranck, J. (1990). Head-Direction Cells Recorded From the Postsubiculum in Freely Moving Rats. I. Description and Quantitative Analysis. *The Journal of Neurosciences*, 10(2), 420-435.

- Tellevik, J. M. (1992). Influence of Spatial Exploration Patterns on Cognitive Mapping by Blindfolded Sighted Persons. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 86, 221-224.
- Tenbrink, T. (2008). The Verbalization of Cognitive Processes: Thinking-Aloud Data and Retrospective Reports. In W. Ramm & C. Fabricius-Hansen (Eds.). *Linearisation and Segmentation in Discourse. Multidisciplinary Approaches to Discourse* (pp.125-136). Oslo: University of Oslo.
- Tenbrinck, T., D'Odorico, T. Hertzberg, C., Mazman, G., Meneghetti, C., Reshoft, N. & Yang, J. (2012). Tutorial Report: Understanding Spatial Thought Through Language Use. *Journal of Spatial Information Science*, 5, 107-114.
- Themines, J-F. (2004). Quatre conceptions de la géographie scolaire : un modèle interprétatif des pratiques d'enseignement de la géographie ? *Cybergeo : European Journal of Geography, Epistémologie, Histoire de la Géographie, Didactique*, 262. En ligne <http://cybergeo.revues.org/4325> consulté le 15 mai 2014. doi : 10.4000/cybergeo.4325
- Themines, J-F. (2006). Connaissance géographique et pratiques cartographiques dans l'enseignement secondaire. *Mappemonde*, 82(2), 1-13. En ligne <http://mappemonde.mgm.fr/num10/articles/art06201.html> consulté le 13 avril 2014
- Thomas, M. & Michel, C. (1994). *Théories du développement de l'enfant : Études comparatives*. Bruxelles: De Boeck.
- Thompson, W., Fleming, R., Creem-Regehr, S. & Stefanucci, J. (2011). *Visual Perception from a Computer Graphics Perspective*. London: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Thorndyke, P. & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in Spatial Knowledge Acquired from Maps and Navigation. *Cognitive Psychology*, 14, 560-589.
- Titus, P.A. & Everett P.B. (1996). Consumer Wayfinding Tasks, Strategies, and Errors: An Exploratory Field Study. *Psychology & Marketing*, 13(3), 265-290.
- Tolman, E. (1948). Cognitive Maps in Rats and Men. *The Psychological Review*, 55(4), 189-208.
- Tolman, E. & Honzik, C. (1930). Introduction and Removal of Reward, and Maze Performance in Rats. *University of California Publications in Psychology*, 4, 257-275.
- Toptas, V. Celik, S. & Karaca, E. (2012). Improving 8Th Grades Spatial Thinking Abilities Through a 3D Modeling Program. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11(2), 128-134.
- Touresky, D. & Redish, A., (1996). Theory of Rodent Navigation Based on Interacting Representations of Space. *Hippocampus*, 6, 247-270.

- Treagust, D. & Duit, R. (2008). Conceptual Change: a Discussion of Theoretical and Practical Challenges for Science Education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), p.297-328.
- Trullier, O., Wiener, S., Berthoz, A. & Meyer, J. (1997). Biologically Based Artificial Navigation Systems: Review and Prospects. *Progress in Neurobiology*, 51, 483-544.
- Tulving, E. (1972). Episodic and Semantic Memory. In E. Tulving and W. Donaldson (Eds.), *Organization of Memory* (pp. 381-403). New York, NY: Academic Press.
- Tulving, E. (1985). How Many Memory Systems Are There? *American Psychologist*, 40, 385-398.
- Tulving, E. (1995). Organization of Memory: Quo Vadis? In M.S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Tversky, B. (1991). Spatial mental models. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*. Vol. 27 (pp. 109-145). N. Y.: Academic Press.
- Tversky, B. (2000). Remembering Space. In E. Tulving & F. Craik (Eds.), *Handbook of memory* (pp. 363-378). New York, NY: Oxford University Press.
- Tversky, B. (2001). Structures of Mental Spaces. Proceedings 3rd International Space Syntax Symposium, Atlanta.

U

- Usiskin, Z. (1982). *Van Hiele Levels and Achievement in Secondary School Geometry*. Thèse de doctorat en Sciences de l'Éducation. University of Chicago.

V

- Van Hiele, P. M. (1959). The Child's Thought and Geometry. *Classics in Mathematics Education Research*, 61-65.
- Van Hiele, P. M. (1986). *Structure and Insight: a Theory of Mathematics Education*. Orlando : Academic Press.
- Ventura, M., Shute, L., Wright, T. & Zhao, W. (2013). An Investigation of the Validity of the Virtual Spatial Navigation Assessment. *Frontiers in Psychology*, 4, 852-857.
- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Marseille: Solal.

- Vidal, M. (2002). *Influence des cadres de référence sur la mémoire spatiale de trajets en trois dimensions*. Thèse de doctorat en Sciences Cognitives. Université de Paris VI, Paris.
- Vinson, N. (1999). *Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments*. CHI'99 Conference Proceedings, Pittsburgh.
- Vitiello, A. (2008). *La démocratisation contre la démocratie ? L'école et l'égalité : promotion de l'économique, dissolution du politique*. Communication présentée au 4ème congrès de l'Association belge de sciences politiques, Louvain-La-Neuve.
- Vygotski (1986). *Thought and Language* (revisited edition). Cambridge, MA: MIT Press.
- Vygotski (2012). *Thought and Language. Revised and Expanded Edition*. Cambridge, MA: MIT Press.

W.

- Waismeyer, A., Jacobs, L. (2013). The Emergence of Flexible Spatial Strategies in Young Children. *Developmental Psychology*, 49(2), 232-42.
- Waller, D. & Lippa, Y. (2007). Landmarks as Beacons and Associative Cues: Their Role in Route Learning, *Memory & Cognition*, 35, 910-924.
- Wallet, G., Sauzéon, H., Larrue, F. & N'Kaoua, B. (2013). Virtual/Real Transfer in a Large-Scale Environment: Impact of Active Navigation as a Function of the Viewpoint Displacement Effect and Recall Tasks. *Advances in Human-Computer Interaction*, 1-7.
- Wallet, G., Sauzéon, H., Pala, P. Larrue, F., Zheng, X. & N'Kaoua, B. (2011). Virtual/Real Transfer of Spatial Knowledge: Benefit From Visual Fidelity Provided in a Virtual Environment and Impact of Active Navigation. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 14(7-8), 417-423.
- Wallet, G., Sauzéon, H., Rodrigues, J., & N'Kaoua, B. (2008). Use of Virtual Reality for Spatial Knowledge Transfer: Effects of Passive/Active Exploration Mode in Simple and Complex Routes for Three Different Recall Tasks. *Proceedings at the 15th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, Bordeaux, France, 175-178.
- Wallet, G., Sauzéon, H., Rodrigues, J. & N'Kaoua, B. (2009). Transfer of Spatial Knowledge from a Virtual Environment to Reality: Impact of Route Complexity and Subject's Strategy on the Exploration Mode. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 6(4), 1-25.
- Wallon, H. (1968). Entretien avec Henri Wallon. *Enfance*, 21(1-2), 17-29.

- Wallraff, H. (1974). *Das Navigations system der Vögel. Ein theoretischer Beitrag zur Analyse ungeklärter Orientierungsleistungen*. München: Schriftenreihe Kybernetik.
- Wang, R. & Simons, D. (1999). Active and Passive Scene Recognition Across Views. *Cognition*, 70, 191-210.
- Wang, R., & Spelke, E. (2002). Human Spatial Representation: Insights from Animals. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 376-382.
- Weisman, J. (1981). Evaluating Architectural Legibility: Wayfinding in the Built Environment. *Environment and Behavior*, 13(2), 189-204.
- Westbury, I. (2007). Making curricula: Why states make curricula, and how. In F. M. Connelly, *The SAGE Handbook of Curriculum and Instruction*, Toronto: Sage, 45–65.
- Wholey, J., Hatry H., & Newcomer, K. (2004). *Handbook of Practical Program Evaluation*. Etats-Unis: John Wiley & Sons.
- Wickens, C. (1987). *Information Processing, Decision Making, and Cognition*. New York, NY: Wiley & Sons.
- Wiener, J., Kmecova, H. & Condappa, O. (2012). Route Repetition and Route Retracing: Effects of Cognitive Aging. *Frontiers in Aging Neurosciences*, 4(7), 125-155.
- Wilkins, L., Girard, T., Konishi, K., King, M., Herdman, K., King, J., Christensen, B. & Bohbot, V. (2013). Selective Deficit in Spatial Memory Strategies Contrast to Intact Response strategies in Patients with Schizophrenia Spectrum Disorders Tested in a Virtual Navigation Task. *Hippocampus*, 23(11), 1015-1024.
- Wilson, P. N., Foreman, N., Gillett, R. & Stanton, D. (1997). Active Versus Passive Processing of Spatial Information in a Computer Simulated Environment. *Ecological Psychology*, 9 (3), 207–222.
- Wiltschke, W. & Wiltschko, R. (1987). Cognitive Maps and Navigation in Homing Pigeons. In P. Ellen and C. Thinus-Blanc (Eds.), *Cognitive Processes and Spatial Orientation in Animal and Man* (pp.201–216). The Hague: Martinus Nijhoff.
- Wirszup, I. (1976). Breakthroughs in the Psychology of Learning and Teaching Geometry. In J. I. Martin, & D. A. Bradbard (Eds.), *Space and Geometry: Papers from a Research Workshop*. Columbus, Ohio: Mathematics and Environment Education ERIC Center for Science.
- Wraga, M., Creem, S., & Profitt, D. (2000). Updating Displays After Imagined Object and Viewer Rotations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26, 151-168.

Y.

Yildiz, C., Aydin, M. & Kogce, D. (2009). Comparing the Old and New 6th – 8th grade Mathematics on Curricula in Terms of Van Hiele Understanding Levels for Geometry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 731-736.

Z.

Zacks, J., Mires, J., Tversky, B. & Hazeltine, E. (2000). Mental Spatial Transformations of Objects and Perspective. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 315-332.

Zazzo, R. (1958). *Manuel pour l'examen psychologique de l'enfant*, Tome 1, Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

Zhu, Q., Wang, R. & Wang, Z. (2013). A Cognitive Map Model Based on Spatial and Goal-Oriented Mental Exploration in Rodents. *Behavioural Brain Research*, 256, 128 -139.

